

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۲۷۵۳۸۲

۱۴۰۱/۱/۲۷

سیستم‌های بیومکاترونیک

جلد اول

طراحی و مدلسازی به روش باندگراف

تدوین:

دکتر احمد رضا عرشی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

مهندس محمد علی شهیری

کارشناس ارشد مهندسی پزشکی

زمستان ۱۴۰۰

سرشناسه	: عرشی، احمد رضا، ۱۳۴۱-
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های بیومکاترونیک: (طراحی و مدلسازی به روش باندگراف) / تدوین احمد رضا عرشی، محمدعلی شهیری.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۳۶۳ ص.: مصور (رنگی).
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۵۱-۰
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: یادداشت.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۹۹-۳۰۲.
موضوع	: مکاترونیک.
موضوع	: Mechatronics
موضوع	: باند گراف‌ها.
موضوع	: Bond graphs
شناسه افزوده	: شهیری، محمدعلی، ۱۳۷۲-
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده‌بندی کنگره	: TJ ۱۶۳/۱۲
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۷۴۴۶۰

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۰/۰۶/۲۸ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: سیستم‌های بیومکاترونیک: جلد اول : طراحی و مدلسازی به روش باندگراف
تدوین	: احمد رضا عرشی، محمدعلی شهیری
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: زمستان ۱۴۰۰
قیمت	: ۱۲۰۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۱۰۰
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۵۱-۰
	ISBN : 978-964-463-851-0

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

I	پیشگفتار.....
۱	فصل ۱: مقدمه.....
۱-۱	۱-۱- فرآیند طراحی.....
۴	۱-۲- مفهوم مدل سازی.....
۱۰	۱-۳- مدل سازی اگزواسکتون به روش باندگراف.....
۱۲	۱-۴- مدل باند گراف اگزواسکتون.....
۱۳	۱-۵- مدل سازی اسکلتی-عضلانی گیت انسان.....
۱۹	۱-۶- سیستم تنفسی و مکانیزم انتقال هوا.....
۱۹	۱-۶-۱- اصول و خواص مکانیکی رمبوی.....
۲۰	۱-۶-۲- مدل باندگرافی ریه.....
۲۰	۱-۶-۳- توصیف منابع افورت در مدل باندگرافی.....
۲۰	۱-۶-۴- توصیف المان های ذخیره کننده و مقاومت ها در مدل باندگرافی.....
۲۱	۱-۶-۵- توصیف ترانسفورمرها در مدل باندگرافی.....
۲۳	فصل ۲: سیستم های چندقطبی و باندگراف ها.....
۲۳	۲-۱- مقدمه.....
۲۳	۲-۲- مدل سازی سیستم های فیزیکی بر پایه تبادله انرژی.....
۲۷	۲-۳- متغیرهای توان مزدوج.....
۲۹	۲-۴- علائم باندگرافی در مدل سازی سیستم های فیزیکی.....
۳۰	۲-۵- باندگراف و بلوک دیاگرام.....
۳۲	۲-۶- علیت.....
۳۲	۲-۷- قرارداد علامت.....
۳۳	۲-۸- سیستم های فعال و غیرفعال.....
۳۴	۲-۹- سیستم های چندقطبی مهندسی.....
۴۱	۲-۱۰- قطب ها، باندها و توان.....
۴۶	۲-۱۱- ورودی ها، خروجی ها و علامت.....

تمرین تکمیلی..... ۵۰

فصل ۳: المان‌های بنیادی باندگراف..... ۵۳

۱-۳- مقدمه..... ۵۳

۲-۳- المان‌های تک‌قطبی بنیادی..... ۵۴

۱-۲-۳- المان تک‌قطبی اتلاف انرژی..... ۵۵

۲-۲-۳- المان‌های تک‌قطبی ذخیره انرژی..... ۵۸

۳-۳- المان‌های دوقطبی بنیادی..... ۶۷

۴-۳- المان‌های ارتباطی ۳ قطبی..... ۷۶

۵-۳- نگاشت علیتی در المان‌های بنیادی..... ۸۳

۱-۵-۳- نگاشت علیتی در المان‌های تک‌قطبی بنیادی..... ۸۳

۲-۵-۳- نگاشت علیتی در المان‌های دوقطبی بنیادی..... ۸۵

۳-۵-۳- نگاشت علیتی در المان‌های سه‌قطبی بنیادی..... ۸۷

۶-۳- ساختار علیتی و بلوک دیاگرام..... ۸۸

تمرین تکمیلی..... ۹۰

فصل ۴: مدل‌سازی سیستم‌ها به روش باندگراف..... ۹۵

۱-۴- مقدمه..... ۹۵

۲-۴- سیستم‌هایی با یک حوزه انرژی..... ۹۶

۱-۲-۴- سیستم‌های الکتریکی..... ۹۶

۲-۲-۴- مدارهای الکتریکی..... ۹۷

۳-۴- روش کلی ایجاد مدل باندگراف مدارهای الکتریکی..... ۹۸

۱-۳-۴- تعیین علامت قراردادی توان (جهت مثبت توان) در مدار الکتریکی موردنظر..... ۹۸

۲-۳-۴- مشخص نمودن ولتاژ هر گره در مدار شماتیک..... ۹۹

۳-۳-۴- نمایش افت ولتاژ مثبت در میان المان‌های مدار به کمک اتصال ۱-..... ۱۰۰

۴-۳-۴- انتخاب گره زمین یا مرجع..... ۱۰۱

۵-۳-۴- ساده‌سازی مدل باندگراف..... ۱۰۲

۴-۴- شبکه‌های الکتریکی..... ۱۰۶

۵-۴- سیستم‌های مکانیکی..... ۱۱۴

۱-۵-۴- سیستم‌های مکانیکی با حرکت انتقالی خالص..... ۱۱۴

۲-۵-۴- دوران حول محور ثابت..... ۱۲۶

۳-۵-۴- حرکت صفحه‌ای..... ۱۳۲

۱۵۱	۴-۶- مدل سازی مدارهای هیدرولیکی و صوتی
۱۵۱	۴-۶-۱- المان مقاومتی در سیستم های سیالاتی
۱۵۵	۴-۶-۲- المان ظرفیت خازنی در سیستم های سیالاتی
۱۵۸	۴-۶-۳- ترکیب خازن ها یا خازن های ترکیبی
۱۶۰	۴-۶-۴- خازن های غیر خطی
۱۶۱	۴-۶-۵- المان اینرسی سیال
۱۶۳	۴-۷- روش کلی ایجاد مدل باندگراف سیستم و مدارهای سیالاتی
۱۶۶	۴-۸- مبدل ها و مدل سازی سیستم هایی با چند حوزه انرژی
۱۶۷	۴-۸-۱- مبدل های نوع ۱ (ترانسفورمرها)
۱۶۹	۴-۸-۲- مبدل های نوع ۲ (ژیراتورها)
۱۷۱	۴-۹- مدل سازی سیستم هایی با چند حوزه انرژی
۱۷۵	تمرین تکمیلی
۱۸۵	فصل ۵: استخراج معادلات فضای حالت
۱۸۵	۵-۱- مقدمه
۱۸۸	۵-۲- فرم استاندارد معادلات حاکم بر سیستم
۱۹۲	۵-۳- تکمیل نمودار باندگراف
۲۰۳	۵-۴- قواعد فرمول نویسی و ساده سازی
۲۱۵	۵-۴-۱- تعمیم روش فرمول نویسی - حلقه های جبری در نمودار باندگراف
۲۱۵	۵-۴-۲- تعمیم روش فرمول نویسی - ساختار علیتی مشتق گیر در نمودار باندگراف
۲۲۲	
۲۳۱	۵-۵- فرمول نویسی متغیر خروجی
۲۳۹	تمرین تکمیلی
۲۴۷	فصل ۶: تحلیل سیستم های خطی
۲۴۷	۶-۱- مقدمه
۲۴۹	۶-۲- روش های حل معادلات دیفرانسیل معمولی
۲۵۳	۶-۳- پاسخ آزاد و مقادیر ویژه
۲۵۳	۶-۳-۱- مثال سیستم مرتبه اول
۲۵۶	۶-۳-۲- سیستم های مرتبه دو
۲۷۰	۶-۳-۳- حالت کلی

پیشگفتار

گسترده‌ی دانش بشری، ایجاد تقسیم‌بندی‌های علمی را ضروری می‌نماید و برخلاف اعصار گذشته، داشتن تخصص در چندین زمینه امکان‌پذیر نیست. حتی مباحث چندرشته‌ای^۱ همچون مهندسی پزشکی نیز تابع الگوهای استاندارد آموزشی نیستند و در محافل علمی مختلف، بر اساس رویکرد آن سازمان، ساختار نظام آموزشی و چارت متفاوتی دارند. از طرف دیگر، رشد روزافزون تکنولوژی، به سمت طراحی سیستم‌های پیچیده و چند رشته‌ای می‌رود. تسلط بر دانش‌های لازم و کسب تجربه در محیط‌های میان‌رشته‌ای^۲، لازمه حضور و دستیابی به موفقیت در میدان‌های مهندسی آینده خواهد بود. در آینده‌ی نزدیک، احتمالاً شاهد به‌کارگیری گجت‌ها، کاشت ریز سیستم‌ها^۳ در بدن انسان و تعامل آن‌ها با سیستم‌های بیرون از بدن و متصل به آن خواهیم بود. طراحی این قبیل سیستم‌های پیچیده، مستلزم تسلط بر طیف گسترده‌ای از مباحث کنترلی، سنسوری، توانایی ایجاد ارتباط با سیستم عصبی-حرکتی انسان و سیستم‌های الکترومکانیکی خارج از بدن است. در چنین فضایی، نیاز به ایجاد ارتباط میان متخصصین رشته‌های مختلف بیش‌ازپیش احساس می‌شود. از این‌رو، آموزش یک زبان مشترک به طیف گسترده‌ای از متخصصان علوم مختلف ضروری است.

بدن انسان بر اساس تعامل و تعادل زیرمجموعه‌های متعددی در حال فعالیت است. این زیرمجموعه‌ها شامل شیمی، مکانیک، الکتریسیته، الکترومغناطیس، فیزیک، سیالات، دینامیک، نور و حرارت از یک‌سو و بیوشیمی، فیزیولوژی سلولی، بیوفیزیک، فیزیولوژی، آناتومی اعصاب و ... از سوی دیگر می‌باشند. اضافه نمودن علوم اعصاب و شناختی نیز درک عملکرد سیستم را پیچیده‌تر می‌کند. مباحث کنترلی، سنسوری و به‌کارگیری صحیح عملگرها و مکانیزم‌های ارتباطی بین این اجزاء، نیازمند یک زبان مشترک است و مجدداً تأکید بر ایجاد روش طراحی و مدل‌سازی واحد دارد.

بیومکاترونیک^۴، مطالعه‌ی اصول مکاترونیک در علوم زیست‌شناختی^۵ است؛ زمینه‌ای جذاب برای مطالعه که ذهن را به‌وسیله‌ی فکر کردن هم‌زمان به رشته‌های مختلف به چالش می‌کشد. یک طراح مکاترونیک با تجربه، در واقع یک قطعه‌ی موسیقی را برای ارکستری از مهندسان می‌سازد. همان‌گونه که هریک از موسیقی‌دانان بر ابزار خود تسلط کامل دارند، چگونگی نواختن در گروه، کار کردن با گروه و یا حتی هدایت یک گروه توسط رهبر ارکستر امکان‌پذیر می‌گردد،

1-Multidisciplinary

2-Interdisciplinary

3-Microchip Technology

4-Biomechanics

5-Biology