مجله آموزش مهندسی ایران، شماره ۲۷، سال هفتم، ص. ۴۶-۲۳

آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه‌های کانادا

پرویز جبه‌دار مارالانی، جواد فیض

گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

چکیده: در این مقاله آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه‌های مختلف کشور کانادا بررسی و در هر مورد ریز برنامه‌های آموزشی مورد اجرا به تفصیل ارائه شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که طراحی هر دوره آموزشی تا حدی وابسته به نوع دپارتمانی است که این دوره را اجرا می‌کند و از کمک سایر دپارتمان‌ها به درصدهای متفاوت بهره‌مند می‌شود. به نظر می‌رسد که به‌تدریج رشته مذکور به صورت مستقل به مجموعه سایر رشته‌های مهندسی افزوده شود و با توجه به نتایج امر و وضعیت کاری فارغ‌التحصیلان، تعدیل‌های لازم در دوره آموزشی مهندسی مکاترونیک صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: مکاترونیک، دانشگاه‌های کانادا و آموزش، مهندسی برق.

۱. مقدمه

آموزش مکاترونیک در دانشگاه‌های دنیا به صورت یک گرایش [۱] در رشته مهندسی مکانیک یا مهندسی برق و کامپیوتر ارائه شده است. در مواردی هم با همکاری دپارتمان‌های مهندسی مکانیک، برق و کامپیوتر رشته مکاترونیک ایجاد شده است. پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک رشته مهندسی مکاترونیک به‌صورت مستقل به مجموعه رشته‌های دانشگاهی اضافه شود. در این مقاله برای اطلاع از کمّ و کیف رشته‌های مهندسی مکاترونیک در دانشگاه‌های مختلف کشور کانادا چهار مورد از آنها شرح داده می‌شود. انتخاب این چهار دانشگاه بدین دلیل بود که دیدگاه‌های آنها در باره از برنامه‌های درسی دوره مکاترونیک با توجه به نقاط قوت آن دپارتمان‌ها متفاوت است.

این دانشگاه‌ها می‌توانند طیف وسیعی از برنامه‌های آموزشی موجود رشته مکاترونیک را ارائه دهند.

۲. آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه تورنتو

در دانشگاه تورنتو، مهندسی مکاترونیک به صورت یک گرایش در دپارتمان مهندسی مکانیک ارائه می‌شود. دانشجویان باید دنباله‌ای از چهار درس را که بر طراحی الکترونیکی آنالوگ و دیجیتال، مبدل‌های انرژی الکترومکانیکی، طراحی مکانیکی و سنسورها و مجتمع‌سازی موتور و میکروپروسسورها تأکید دارند، بگذرانند. طراحی مکانیکی و مجتمع‌سازی دو موضوعی هستند که در بسیاری از درس‌های این رشته مورد تأکید قرار می‌گیرند. در این دانشگاه دروس سه گرایش مهندسی مکانیک جامدات، ساخت و تولید و مکاترونیک در دو سال اول یکسان هستند و برنامه تخصصی گرایش‌ها از سال سوم آغاز می‌شود. درس‌های اختصاصی گرایش مکاترونیک به شرح زیر است:

الف. مدارهای الکتریکی و کاربرد آنها در سیستم‌های مهندسی مکانیک

کاربرد مکاترونیکی اصول مدار شامل اجزای مدار، منابع ولتاژ، جریان و پاسخ مدارهای

---

۱. Option

RLC، تحلیل حوزه فرکانسی، اندوکتانس متقابل، ترانسفورماتور ومدارهای معادل مدار تزویج مغناطیسی و فیلترهاست. کاربرد سیستم‌های مکانیکی، سنسورها و ابزار دقیق نیز در این درس مطرح می‌شوند.

ب. الکترونیک آنالوگ و دیجیتال

این درس شامل بررسی رفتار اساسی ادوات اصلی نیمه‌هادی مانند دیودها، ترانزیستورها و تقویت‌کننده‌های عملیاتی است.

ج. تبدیل انرژی الکترومکانیکی

در این درس اصول مبدل‌های انرژی الکترومکانیکی، مواد فرومغناطیسی و خواص آنها، مفاهیم و عملکرد اساسی و مدل‌های حالت دایمی برای ترانسفورماتورها و ماشین‌های dc و ac بیان می‌شوند.

د. اصول مهندسی مکاترونیک

ابزارهای طراحی، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل و کنترل سیستم‌های مکاترونیکی، تجزیه و تحلیل قطعات مختلف مورد نیاز در طراحی و کنترل سیستم‌های مکاترونیکی شامل سیستم‌های سنسورها و محرک‌ها و مدارهای واسط I/O موارد بیان شده در این درس است. همچنین، در این درس یک پروژه مجتمع‌سازی مطرح می‌شود که به طراحی و مجتمع‌سازی یک ارابه خودکار مجهز به سنسورهای ممانعت‌کننده از تصادف منجر می‌شود. دروس اختیاری سال‌های سوم و چهارم چنان انتخاب می‌شوند که دانشجویان گرایش مکاترونیک بتوانند همواره درس‌های گرایش مهندسی مکانیک را که با دروس مهندسی مکاترونیک جایگزین شده‌اند، انتخاب کنند. همچنین، آنان پروژه سال چهارم خود را چنان انتخاب می‌کنند که مهارت‌های لازم برای طراحی‌های مکاترونیکی را به کار گیرند. لازم است دانشجویان گرایش مکاترونیک همانند دانشجویان گرایش مکانیک درس سیستم‌های کنترل را در سال چهارم با تأکید بر روش‌های طراحی کنترل زمان پیوسته انتخاب کنند. مطالب درس کنترل دیجیتال در درس اصول مکاترونیک تکمیل می‌شود.

درس طراحی سال چهارم

با توجه به جنبه مهم آموزش مهندسی مکاترونیک که توسعه توانایی طراحی سیستمی در مهندسان است، دروس تئوری مدار، الکترونیک آنالوگ و دیجیتال و مبدل‌های انرژی الکترومکانیکی تا حدود زیادی بر محتوای درس و آزمایشگاه‌ها تأثیر می‌گذارند. در احاطه به مطالب مربوط به دیودها، ترانزیستورها، تقویت‌کننده‌های عملیاتی و تقویت‌کننده‌های مختلف، موتورها و کلیدها، دانشجویان فرصت ساختن سیستمی را پیدا می‌کنند که در آن بسیاری از آموخته‌های سال سوم خود را به کار گیرند. در درس اصول مهندسی مکاترونیک در سال چهارم، دانشجویان به صورت یک گروه طراحی در صدد یافتن راه حلی برای یک مسئله مهندسی هستند. این گروه مسئله مهندسی را از یک مرحله مفهومی تا مرحله ساخت نمونه پیش می‌برند. این درس با مسابقه‌ای بین دانشجویان پایان می‌یابد. هر تیم طراحی، راه حل مسئله‌ای را به صورت RFP[1] ارائه می‌دهد که در صورت تصویب، تیم ساخت نمونه را با محدودیت خاص بودجه‌ای و زمانی آغاز می‌کند. انتظار می‌رود که اعضای تیم تمام فعالیت‌های لازم برای موفقیت طراحی خود شامل تهیه مشخصات و خرید قطعات و ماشین‌کاری لازم بر روی قطعات را شخصاً انجام دهند.

در طول ۲ سال گذشته، RFP توسعه یک ارابهٔ برقی خودکار به‌نام Laboratory Rover را خواستار شده بود. Rover در یک پیچ و خم با دنبال کردن یک خط سفید و جلوگیری از تصادف حرکت می‌کند. انتظار می‌رود که این Roverکوچک علاوه بر حرکت دارای توانایی چرخش باشد. دانشجویان باید نمونه آزمایشگاهی خود را برای شرکت در مسابقه دانشجویی بسازند.

برای کمک به دانشجویان در توسعه پروژه تعدادی عملیات آزمایشگاهی تدارک دیده شده‌اند تا مهارت‌های خاص مورد نیاز در مجتمع‌سازی قطعات را به دانشجویان آموزش دهند. آزمایش‌هایی که توسط دانشجویان انجام می‌شوند، عبارت‌اند از: تست مدارهای میکروپروسسوری، آشنایی با میکرو C، مدارهای واسط میکروپروسسوری، موتورها و سنسورها، شبیه‌سازی دینامیکی یک روبات، سیستم سرور، کنترل دیجیتال، مثال‌های

---

۱. Request For Proposal

MATLAB و آشنایی با برنامه‌سازی به زبان اسمبلی.

امکانات آزمایشگاهی

برای دانشجویان مهندسی مکاترونیک آزمایشگاهی با دسترسی ۲۴ ساعته نیز ایجاد شده است. این آزمایشگاه ۲۴ ایستگاه دارد و هر یک از این ایستگاه‌ها شامل یک PC است که دسترسی به تعداد زیادی CAD/CAE، منابع نرم‌افزاری مانند MATLAB و IDEAS را امکان‌پذیر می‌سازند. تمام لوازم استاندارد الکترونیکی مانند مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، منابع تغذیه و ابزارهای لازم به دانشجویان داده می‌شود. دانشجویان به کارگاه مکانیک نیز دسترسی دارند و قطعات مکانیکی مورد نیاز پروژه خود را شخصاً تهیه می‌کنند.

۳. آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه واترلو

دپارتمان‌های مهندسی مکانیک، مهندسی برق و کامپیوتر و مهندسی طراحی سیستم از سال ۱۹۹۸ به طور مشترک گرایش مهندسی مکاترونیک را ارائه می‌دهند. ایجاد این گرایش در پاسخ به تقاضاهای رو به افزایش واحدهای صنعتی برای تربیت مهندسانی با اطلاعاتی بنیادی میان‌رشته‌ای[۱] و مهارت‌هایی در سیستم‌های مکانیکی الکتریکی و کامپیوتری بوده است. دانشجویان گرایش مکاترونیک در هر سه دپارتمان باید شرایط فارغ‌التحصیلی آن دپارتمان را برآورده کنند و در مدرک فارغ‌التحصیلی آنان علاوه بر نام رشته اصلی، نام گرایش مکاترونیک نیز درج می‌شود. شرایط آموزشی چنان است که محتوای مکاترونیکی دروس صرف‌نظر از دپارتمان اصلی آنها رعایت می‌شود.

۱.۳. دلایل ایجاد گرایش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه واترلو

دانشگاه واترلو برنامه‌های آموزشی قوی در مهندسی مکانیک، مهندسی برق و کامپیوتر و مهندسی طراحی سیستم‌ها دارد و از این رو، قادر است برنامه آموزشی مکاترونیک را اجرا کند. همچنین، دانشگاه واترلو به طور سنتی ارتباط قوی و فعالی با صنایع به‌خصوص ساخت و

---

۱. Interdisciplinary

تولید دارد.

به‌طور کلی، آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه‌های دنیا به چند صورت زیر است:

۱. یک یا دو درس خاص در برنامه آموزشی یکی از رشته‌ها (معمولاً در برنامه مهندسی مکانیک)؛
۲. یک پروژه طراحی خاص؛
۳. مجموعه‌ای از چند درس به عنوان گرایشی از یک برنامه آموزشی مهندسی؛
۴. یک برنامه آموزشی خاص در سطح کارشناسی ارشد (یک ساله)؛
۵. یک برنامه آموزشی خاص در سطح کارشناسی؛
۶. یک برنامه آموزشی خاص در سطح کارشناسی و کارشناسی ارشد ادغام شده (مانند دانشگاه BC).

دانشگاه واترلو از مورد ۳ تبعیت می‌کند و بسیاری از درس‌های گرایش مکاترونیک جزء برنامه درسی یکی از سه دپارتمان نامبرده است، اما هیچ یک از این برنامه‌ها به تنهایی موضوعات لازم در مکاترونیک را به‌طور کامل نمی‌پوشاند. بنابراین، تکمیل آموزش دانشجویان در برنامه موجود با موضوعات و زمینه‌های خالی از تخصص مکاترونیک مفهوم پیدا می‌کند. بدین ترتیب، صورت‌های متفاوتی از مهندسی مکاترونیک در سه دپارتمان تحقق می‌یابد. دانشجویان هر دپارتمان می‌توانند با انتخاب مناسب دروس اختیاری، دروس تخصصی و دروس عمومی به اضافه یک یا دو درس اضافی به گرایش مکاترونیک وارد شوند. برنامه آموزشی هر گرایش موضوعات الزامی هر رشته را برای یک مهندس مکاترونیک ارائه می‌دهد و دانشجویان به راحتی می‌توانند گرایش مکاترونیک را به همراه برنامه‌های عادی دپارتمان خود تکمیل کنند.

۲.۳. زمینه‌های موضوعی الزامی در برنامه مهندسی مکاترونیک

آنچه در زیر می‌آید، فهرستی از زمینه‌های موضوعی است که باید جزء برنامه‌های آموزشی مهندسانی باشد که بخواهند گرایش مکاترونیک را در یکی از سه دپارتمان انتخاب کنند:

الف. سیستم‌های مکانیکی
- اصول مکانیک (سینماتیک)
- دینامیک سیستم‌های مکانیکی
- طراحی مکانیکی و CAD

ب. سیستم‌های الکتریکی
- تبدیل انرژی (موتورها و محرک‌ها)
- الکترونیک قدرت
- سنسورها
- مدارهای واسط

پ. سیستم‌های کامپیوتری
- اصول سیستم‌های کامپیوتری
- اصول برنامه‌سازی کامپیوتر
- سیستم‌های کامپیوتری زمان حقیقی
- میکروکنترلرها
- مدار واسط
- مهندسی نرم‌افزار

ت. سیستم‌ها
- مدلسازی و شبیه‌سازی سیستم‌ها
- اصول سیستم‌های کنترل
- سیستم‌های کنترل دیجیتال
- روباتیک و خودکارسازی
- سیستم‌های هوشمند

ث. پروژه مکانیک

علاوه بر موضوعات ذکر شده، پروژه‌ای در طراحی مکاترونیک به عنوان جزء اصلی آموزش مکاترونیک درنظر گرفته می‌شود. هدف از این پروژه ارائه تجربه طراحی سیستم‌ها به دانشجویان است که آنان بتوانند از آن در پروژه مجتمع کردن تکنولوژی‌های مختلف آموزش بهره گیرند. این پروژه‌ها بر مبنای سیستم‌های فیزیکی موجود در آزمایشگاه مکاترونیک توصیف می‌شوند. یا با یک کاربرد صنعتی خاص همراه هستند. گروه‌های پروژه حداقل سه نفری هستند که دو نفر از آنان از دپارتمان‌های دیگرند و هدف دستیابی به تجربه کار تیمی توسط دانشجویان است. برنامه‌ریزی مراحل مختلف اجرای پروژه ارائه و تهیه گزارش آن جزء مکمل این پروژه است.

۳.۳. برنامه آموزشی مهندسی مکاترونیک در دانشگاه واترلو

با توجه به اینکه زمینه مشترک معینی در بعضی از موضوعات پایه‌ای در برنامه درسی اصلی هر دانشجو در هر دپارتمان وجود دارد، لازم است هر دانشجوی مکاترونیک حداقل یک درس در این موضوعات انتخاب کند: تحلیل مدار، برنامه‌سازی کامپیوتر، سیستم‌های کامپیوتر، محاسبات عددی، تحلیل آماری، تئوری کنترل و ترمودینامیک. درس‌های باقیمانده گرایش مکاترونیک بر پایه این دروس اصلی تنظیم می‌شوند.

بدیهی است تمام دروس و موضوعاتی که در هر یک از سه دپارتمان ارائه می‌شود، نمی‌تواند به وسیله یک گرایش پوشانده شود. از این رو، تنها چند درس به عنوان دروس اجباری تعیین شده‌اند، در حالی که تعداد زیادی از دروس را می‌توان از دروس دسته‌بندی شده خاص انتخاب کرد. دروس اجباری شامل یکی از ۲ درس تحلیل سیستم‌های مکانیکی، یکی از ۲ درس تبدیل انرژی، یکی از ۲ درس مدار و یک درس در مدار واسط میکروکامپیوتری است.

۴.۳. ساختار دروس در گرایش مکاترونیک

دروس اجباری گرایش مکاترونیک در سه سطح مختلف ارائه می‌شوند:

الف. دروس سطح ۱

دروس سطح ۱ درس‌هایی هستند که جزو برنامه معمولی دانشجو در هر سه دپارتمان است و به عنوان دروس پایه برای گرایش مکاترونیک در نظر گرفته می‌شوند. این دروس در جدول ۱ برای هر دپارتمان داده شده است.

جدول ۱. دروس سطح ۱ (پایه) در گرایش مکاترونیک

موضوع	مهندسی برق	مهندسی کامپیوتر	مهندسی مکانیک	مهندسی طراحی سیستم
تحلیل مدار الکتریکی ۱	اصول مهندسی برق	اصول مهندسی برق	مهندسی برق	الکتریسیته، مغناطیس و نور
برنامه‌سازی کامپیوتر	مبانی محاسبات	مبانی محاسبات	محاسبات دیجیتالی	محاسبات دیجیتالی
کامپیوترهای دیجیتال	کامپیوترهای دیجیتال	کامپیوترهای دیجیتال	آشنایی با میکروپروسسور و منطق دیجیتال	سیستم‌های دیجیتال
محاسبات عددی	روش‌های محاسبات عددی	روش‌های محاسبات عددی	ریاضیات مهندسی پیشرفته	روش‌های عددی
سیستم‌های کنترل	سیستم‌های کنترل آنالوگ	سیستم‌های کنترل آنالوگ	مبانی سیستم‌های کنترل	مبانی سیستم‌های کنترل
تحلیل آماری	تئوری احتمالات	تئوری احتمالات	آمار برای مهندسان	احتمالات
ترمودینامیک	مبانی ترمودینامیک و انتقال حرارت	مبانی ترمودینامیک و انتقال حرارت	ترمودینامیک ۱	ترمودینامیک

ب. دروس سطح ۲

چهار درس سطح ۲ به عنوان دروس اصلی گرایش مکاترونیک در نظر گرفته می‌شوند. البته، برای دانشجویان هر دپارتمان بعضی از این دروس جزو برنامه آموزشی جاری آنهاست، در حالی که برخی دیگر دروس اضافی هستند که باید انتخاب شوند. انتظار می‌رود که دانشجویان هنگام انتخاب این دروس یک یا چند درس از دپارتمان اصلی خود را به ترم‌های بعد موکول کنند. این دروس در جدول ۲ برای هر دپارتمان نشان داده شده است.

جدول ۲. دروس سطح ۲ (اصلی) در گرایش مکاترونیک

موضوع	مهندسی برق	مهندسی کامپیوتر	مهندسی مکانیک	مهندسی طراحی سیستم
تحلیل و طراحی مدار	تحلیل و طراحی مدار	تحلیل و طراحی مدار	مدارها، ابزار دقیق، اندازه‌گیری	مدارها، ابزار دقیق، اندازه‌گیری
سینماتیک و دینامیک ماشین‌ها	مدل‌ها و شبیه‌سازی سیستم‌های مکانیکی	سینماتیک و دینامیک ماشین‌ها	مدل‌ها و شبیه‌سازی سیستم‌های مکانیکی	مدل‌ها و شبیه‌سازی سیستم‌های مکانیکی
سیستم‌های میکروکامپیوتری و مدار واسط	سیستم‌های میکروکامپیوتری و مدار واسط	سیستم‌های میکروکامپیوتری و مدار واسط	سیستم‌های میکروکامپیوتری و مدار واسط	سیستم‌های میکروکامپیوتری و مدار واسط
سیستم‌های انرژی و مؤلفه‌های آن	سیستم‌های انرژی و قطعات آن	دستگاه‌های الکترومکانیکی و تولید توان	دستگاه‌های الکترومکانیکی و تولید توان	سیستم‌های انرژی و قطعات آن

در جدول ۲ در صورتی که بیش از یک درس از هر دپارتمان نامبرده شده است، دانشجویان می‌توانند هر کدام را که مایلند انتخاب کنند.

ج. دروس سطح ۳

دروس سطح ۳ دروس انتخابی در زمینه‌های موضوعی متفاوت گرایش را نشان می‌دهند.

دانشجویان باید حداقل یک درس از هر یک از ۵ گروه داده شده در جدول ۳ را انتخاب کنند.

جدول ۳. دروس سطح ۳ (انتخابی) گرایش مکاترونیک

موضوع گروهی	مهندسی برق و کامپیوتر	مهندسی مکانیک	مهندسی طراحی سیستم
محرک‌ها و سنسورها	الکترونیک قدرت	سیستم‌های سیال کنترل توان	-
سیستم‌های کامپیوتری	سیستم‌های عامل زمان حقیقی مهندسی نرم‌افزار هوش مصنوعی کاربردی	-	آشنایی و تشخیص الگو ساختار و طراحی الگوریتم پردازش تصویر
سیستم‌های کنترل دیجیتال	طراحی سیستم‌های کنترل دیجیتال کاربرد کنترل کامپیوتری	-	-
رباتیک و خودکارسازی	کنترل و دینامیک ربات	مهندسی ساخت و تولید حرکت‌دهنده‌های ربات	هوش ماشین، منطق فازی و شبکه‌های عصبی
سیستم‌های مکانیکی	-	طراحی ماشین دینامیک پیشرفته	شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم‌ها دینامیک پیشرفته مدل‌سازی سیستم‌های پیوسته

در هر ردیفی از جدول که علامت - درج شده است، دانشجو دروس دپارتمان‌های دیگر را از همان ردیف انتخاب می‌کند.

۵.۳. پروژه مهندسی مکاترونیک

هر دانشجوی گرایش مهندسی مکاترونیک حداقل باید یک درس پروژه مکاترونیک یک

نیمسالی را انتخاب کند.

- پروژه طراحی مکاترونیک ۱
- پروژه طراحی مکاترونیک ۲

انتظار می‌رود که پروژه طراحی مکاترونیک مقدمات لازم برای کسب تجربه طراحی مهم را ممکن سازد. دانشجویان می‌توانند پروژه طراحی را به عنوان جایگزین یک درس مشابه که ممکن است در دپارتمان آنها اجباری باشد، انتخاب کنند. در گرایش مکاترونیک دو پروژه پیشنهاد شده است تا دانشجویان بتوانند پروژه‌های مفصل‌تری را انتخاب کنند که اجرای کامل آنها در یک نیمسال امکان‌پذیر نیست. اجرای این پروژه‌ها توسط آزمایشگاه‌های مجهز مکاترونیک پشتیبانی می‌شود که تسهیلات لازم را برای ساختن سیستم‌های کاری فراهم می‌کنند.

۶.۳. پیاده‌سازی برنامه

همکاری مؤثری میان دپارتمان‌ها لازم است تا بتوانند چنین گرایشی را ایجاد کنند. دانشجویان هر دپارتمان که گرایش مکاترونیک آن دپارتمان را انتخاب می‌کنند، دروسی از دپارتمان‌های دیگر نیز انتخاب می‌کنند. در انتخاب دروس معمولی هر دپارتمان نوعی انعطاف وجود دارد، به‌طوری که دانشجویان گرایش مکاترونیک می‌توانند دروس گرایش خود را به دلخواه انتخاب کنند و بگذرانند.

۴. آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه BC[1]

در دانشگاه BC برنامه آموزشی رشته مکاترونیک با نام مهندسی طراحی الکترومکانیک و به‌صورت یک برنامه میان‌رشته‌ای ۵ ساله در مهندسی مکانیک و مهندسی الکترونیک از سال ۱۹۹۴ اجرا می‌شود. دانشجویان تقریباً تمام دروس اصلی مهندسی مکانیک و بیشتر دروس اصلی مهندسی برق را در طی چهار سال اول می‌گذرانند. جدیدترین برنامه این رشته که در سال ۲۰۰۰ تجدیدنظر شده است و از ابتدای سال دوم مهندسی مکانیک شروع می‌شود، در

---

۱. British Columbia

جدول ۴ ارائه شده است.

دروس عمومی سال اول که برای تمام رشته‌های مهندسی یکسان است، به شرح زیر است:

- جامعه و مهندس[۱] (یک واحد)
- آشنایی با مهندسی[۲] (یک واحد)
- مطالعات خاص مهندسی[۳] (۶۰ واحد)
- شیمی برای مهندسی[۴] (۳ واحد)
- مبانی ایجاد نرم‌افزار[۵] (۳ واحد)
- استراتژی‌های نگارش دانشگاهی[۶] (۳ واحد)
- حساب دیفرانسیلی[۷] (۳ واحد)
- حساب انتگرالی[۸] (۳ واحد)
- سیستم‌های خطی[۹] (۳ واحد)
- اجزاء فیزیک[۱۰] (۶ واحد)
- مکانیک ۱[۱۱] (۳ واحد)

---

۱. Society and the Engineer

۲. Introduction to Engineering

۳. Engineering Case Studies

۴. Chemistry for Engineering

۵. Principles of Software Development

۶. Strategies for University Writing

۷. Differential Calculus

۸. Integral Calculus

۹. Linear Systems

۱۰. Elements of Physics

۱۱. Mechanics 1

- مطالعات انتخابی مکمل [۱] (۳ واحد)

جدول ۴. فهرست دروس سال دوم و سوم رشته مهندسی طراحی الکترومکانیک در دانشگاه BC

دروس سال دوم	نام درس	تعداد واحد	نیمسال
CPSC 252	طراحی برنامه و ساختار داده‌ها برای مهندسان	۴	اول
EECE 256	طراحی منطقی دیجیتال	۳	اول
MATH 253	حساب چندمتغیره	۳	اول
MECH 201	آزمایشگاه مهندسی مکانیک ۱	۳	اول
MECH 250	آشنایی با نرم‌افزار مهندسی	۱	اول
MECH 160	آشنایی با مواد مکانیکی	۳	اول
MECH 270	ترمودینامیک	۳	اول
APSC 201	ارتباطات فنی	۳	دوم
EECE 259	آشنایی با میکروکامپیوترها	۳	دوم
EECE 263	تحلیل اساسی مدار	۳	دوم
MATH 256	معادلات دیفرانسیل	۳	دوم
MECH 202	آزمایشگاه مهندسی مکانیک ۲	۳	دوم
MECH 265	مکانیک اجسام صلب	۳	دوم
MECH 280	آشنایی با مکانیک سیالات	۳	دوم
MECH 203	کارگاه مکانیک	۱	صفر

۱. Complementary Studies Electives

ادامه جدول ۴

دروس سال سوم	نام درس	تعداد واحد	نیمسال
APSC 278	مواد مهندسی	۳	اول
APSC 279	آزمایشگاه مواد مهندسی	۱	اول
EECE 315	آشنایی با سیستم‌های عامل	۴	اول
EECE 373	ماشین‌های الکتریکی و انتقال قدرت	۴	اول
MECH 380	مکانیک مواد	۳	اول
MECH 375	انتقال حرارت ۱	۳	اول
MECH 303	آزمایشگاه‌های مهندسی مکانیک ۳	۲	اول و دوم
MECH 351	طراحی محصول مهندسی	۸	اول و دوم
EECE 254	مدارهای الکترونیکی ۱	۳	دوم
EECE 283	آزمایشگاه الکترومکانیک ۱	۲	دوم
EECE 314	مهندسی نرم‌افزار سیستم	۳	دوم
MECH 365	ارتعاش و دینامیک ماشین	۲	دوم
MECH 392	فرایندهای ساخت	۲	دوم
MMAT 380	ساختار و خواص مواد	۳	دوم

جدول ۵. فهرست دروس سال چهارم و پنجم رشته مهندسی طراحی الکترومکانیک در دانشگاه BC

دروس سال چهارم	نام درس	تعداد واحد	نیمسال
APSC 450	کارآموزی مهندسی حرفه‌ای	۲	اول
EECE 356	مدارهای الکترونیکی ۲	۴	اول
EECE 379	طراحی سیستم‌های دیجیتال و میکروکامپیوتر	۳	اول
MECH 466	کنترل اتوماتیک	۴	اول
COMP STUDIES	مطالعات مکمل	۳	اول
EECE 494	طراحی سیستم‌های دیجیتالی زمان حقیقی	۳	دوم
MECH 352	طراحی اجزاء مکانیکی	۳	دوم
MECH 430	تحلیل داده‌های مهندسی	۳	دوم
MECH 431	اقتصاد مهندسی	۳	دوم
MECH 465	ارتعاشات مکانیکی	۴	دوم
COMP STUDIES	مطالعات مکمل	۴	دوم

ادامه جدول ۵

دروس سال پنجم	نام درس	تعداد واحد	نیمسال
MECH 551	پروژه طراحی ماشین پیشرفته	٦	تابستان
MECH 552	پروژه طراحی الکترومکانیک	٦	پاییز/زمستان
TECH. ELEC.	دروس کارشناسی ارشد (حداکثر ٦ واحد از دروس شماره ۳۰۰ به بالا دوره لیسانس؛ توصیه می‌شود که ٦ واحد از آنها در طی سال چهارم اخذ شود.	۱۸	

دروس زیر جزو دروس انتخابی سال پنجم هستند:

EECE 465 طراحی سیستم‌های میکروکامپیوتری

EECE 466 سیستم‌های پردازش سیگنال دیجیتال

EECE 374 الکترونیک و الکترومغناطیس

EECE 478 گرافیک کامپیوتری

EECE 570 کنترل فرایند صنعتی پیشرفته

EECE 487 مبانی روباتیک

۵. آموزش مهندسی مکاترونیک در دانشگاه شربروک [۱]

در سال ۱۹۹۴، با توجه به انتقادهای وارد شده به آموزش‌های دانشگاهی، دپارتمان مهندسی مکانیک دانشگاه شربروک تصمیم گرفت که در محتوای برنامه دوره کارشناسی تغییرات اساسی ایجاد کند. پس از مطالعات اولیه، روشی بر اساس تغییر ساختار برنامه به‌اجرا در آمد که در آن از روش توانایی عملکردی [۲] با تأکید بر مجتمع‌سازی [۳] استفاده شد. یک پروژه طراحی عمده بر مبنای روش‌های مهندسی همزمان در برنامه آموزشی دو سال آخر پیاده شد

---

۱. Cherbrooke

۲. Competency

۳. Integration

تا تکامل و مجتمع‌سازی کلی امکانات مختلف را شفاف‌تر کند. این پروژه علاوه بر پروژه‌های مجتمع‌سازی کوچک نیمسالی در دو سال اول است.

همچنین، مشاهده شد که با شروع طراحی مکانیکی و اضافه کردن سیستم کنترل به آن در مرحله بعدی نمی‌توان طراحی محصولات و فرایندهای تولید رابهینه کرد، بلکه یک درس طراحی مجتمع‌سازی مورد نیاز است که در نهایت، به درس‌های مکاترونیک منجر می‌شود.

تعریف کلی و پذیرفته شده مکاترونیک که اساس برنامه‌ریزی در دانشگاه شربروک بوده است، عبارت است از: مکاترونیک مجتمع‌سازی ادغام شده مهندسی مکانیک با الکترونیک وکنترل هوشمند کامپیوتری در طراحی و تولید محصولات صنعتی الکترونیکی و تکنولوژی اطلاعات. بر اساس این تعریف، درس‌های مکاترونیک در یک برنامه آموزشی جدید به گونه‌ای گرد آمده‌اند که توانایی دانشجویان مهندسی مکانیک را به منصه ظهور رسانند.

۱.۵. تدریس توانایی عملکردی مکاترونیک [۱]

برای گذر از دانش خام به توانایی انجام‌دادن امور [۲] و تضمین اینکه مهندسان حرفه‌ای تربیت شده آینده برای ادای مناسب وظایف خود مهارت‌های لازم را فرا می‌گیرند، ضروری است که این توانایی ارزیابی شود. اصل یادگیری بر مبنای توانایی عملکردی جدید نیست و به اعتراف متخصصان آموزش تعریف توانایی عملکردی چندان آسان نیست. لیکن تعریف عمومی پذیرفته شده مجموعه‌ای از مهارت‌های شناختی (دانش)، روان‌شناختی بر پایه اطلاعات سنسوری / مهارت‌های موتوری و رفتارهای مؤثر اجتماعی یک فرد است که وی را قادر می‌سازد تا ضمن انجام‌دادن رضایت بخش فعالیت‌ها، وظایف را در سطح بازار کار به اتمام برساند.

توانایی عملکردی مکاترونیک با چهار مؤلفه زیر توصیف می‌شود:

۱. دانشجو باید بتواند سیستم کنترل مورد نیاز خود را مشخص کند.

۲. دانشجو باید بتواند هر یک از زیرسیستم‌های کاربردی را انتخاب کند.

---

۱. Mechatronic Competency

۲. Knowhow

۳. دانشجو باید بتواند تمام زیر سیستم‌ها را با هم مجتمع کند.
۴. دانشجو باید بتواند به عنوان یک رهبر تیم چند رشته‌ای عمل کند.

دروس اول که مکاترونیک ۱ نامیده می‌شود، دانشجویان را با مسائل کنترلی محصولات و فرایندهای سیستم‌های مکانیکی آشنا می‌سازد. درس دوم که مکاترونیک ۲ است، مؤلفه‌های سخت‌افزاری مثل سنسورها، محرک‌ها، قطعات الکترونیکی، DAC و ADC میکروپروسسور و غیره را ارائه می‌دهد. درس سوم پروژه مکاترونیک است و به دانشجویان امکان می‌دهد که مجتمع‌سازی این زیرسیستم‌ها را محقق سازند. به‌طور متوسط، ۵۵ دانشجو در هر درس ثبت نام می‌کنند. جزوه‌های درسی، تمرینات، آزمایش‌های آزمایشگاهی و Websiteهای مختلف برای تقویت یادگیری مطالب ایجاد شده‌اند. آزمایشگاه‌ها نقش مهمی در پشتیبانی از یادگیری مؤثر دانشجویان ایفا می‌کنند، زیرا بهترین راه یادگیری توانایی‌های تکنولوژی اعمال آنها توسط خود شخص است. به این دلیل، دپارتمان مهندسی مکانیک و مهندسی برق بودجه و اعتبارات لازم و اتاق‌های خاص اجرای عملیات آزمایشگاهی را فراهم آورده‌اند.

درس مکاترونیک ۱

در این درس سه واحدی دانشجویان با مسائل کنترل محصولات و فرایندهای سیستم مکانیکی آشنا می‌شوند. این درس شامل ۳۶ ساعت تدریس نظری، ۲۱ ساعت کار آزمایشگاهی، ۱۸ ساعت تمرین و ۲۹ ساعت نیمسالی برای مجتمع‌سازی پروژه درسی است. محتوای کلی مطالب این درس به شرح زیر است:

- منطق ترکیبی[۱]
- منطق ترتیبی[۲]
- طراحی کنترل خودکار با GRAFCET
- مدل‌سازی سیستم‌ها (تبدیل لاپلاس و سیستم‌های آنالوگ)

---

۱. Combinatorial Logic

۲. Sequential Logic

- تجزیه و تحلیل سیستم‌ها[۱]
- کنترل زمان پیوسته (روش کنترل PID)

آزمایشگاه خودکارسازی برای پشتیبانی از مطالب دروس منطق ترکیبی و منطق ترتیبی GRAFCET ایجاد شده است. دانشجویان استراتژی کنترل ON/OFF را با به کارگیری GRAFCET و پیاده‌سازی کنترل با برنامه‌سازی دیاگرام نردبانی[۲] توسعه می‌دهند.

مدلسازی سیستم، روش‌های تجزیه و تحلیل سیستم و کنترل پیوسته به‌وسیله آزمایشگاه آیروترم[۳] پشتیبانی می‌شوند. دانشجویان یک فرایند حرارتی را مدلسازی می‌کنند و با به کارگیری یک کنترل‌کننده صنعتی PID در یک PLC یک کنترل کننده پس‌خور طراحی می‌کنند که درجه حرارت هوای خروجی را کنترل کند.

عملیات آزمایشگاهی مکاترونیک ۱ به وسیله یک Website پشتیبانی می‌شود که موضوعات آزمایشگاهی، ویدئو، مستندسازی online، Quizها و نمره‌دادن را به‌طور خودکار فراهم می‌آورد.

درس مکاترونیک ۲

این درس سه واحدی قطعات سخت‌افزاری را فراهم می‌کند و شامل ۳۹ ساعت تدریس نظری، ۲۹ ساعت کار آزمایشگاهی روی سه پروژه کوچک (جمعاً ۲۹ ساعت) و ۱۸ ساعت تمرین است. محتوای مطالب این درس به شرح زیر است:

- الکترونیک آنالوگ (نیمه‌هادی‌ها، ترانزیستورها و تقویت‌کننده‌های عملیاتی)
- سنسورها
- محرک‌های الکتریکی (شامل آشنایی با محرک‌های پیزوالکتریک)
- الکترونیک دیجیتال
- تکنولوژی میکروپروسسور

---

۱. Simulink, Matlab

۲. Ladder Diagram

۳. Aerotherm

- روش‌های کنترل دیجیتال (نمونه‌برداری و کنترل زمان حقیقی)

تدریس الکترونیک آنالوگ و سنسورها به‌وسیله آزمایشگاه اول پشتیبانی می‌شود که در آن دانشجویان یک سنسور هوشمند سرعت سیال را تحقق می‌دهند که از راه دور از طریق اینترنت برای استفاده از آزمایشگاه ایروفرم است. یک pitol tube، سنسور صنعتی فشار ۴-۲۰mA، برد بورد[۱]، تقویت کننده عملیاتی و PC با ورودی‌های ADC، ارتباط‌های اینترنت و Labview در این آزمایشگاه به‌کار می‌روند.

تدریس سنسورهای پیزوالکتریک (PVDF) و محرک‌های پیزوالکتریک (PZT) توسط آزمایشگاه دومی پشتیبانی می‌شود که در آن دانشجویان یک ساختار هوشمند را بررسی می‌کنند. موتورهای الکتریکی DC، سنسور سرعت و روش‌های کنترل دیجیتال توسط آزمایشگاه سومی پشتیبانی می‌شوند.

پروژه مکاترونیک

در درس سوم مکاترونیک، دانشجویان مجتمع‌سازی واقعی زیرسیستم‌ها را طراحی می‌کنند. تمام گروه‌ها با مشخصات و قطعات سخت‌افزاری یکسان کار می‌کنند، به استثنای قطعه مکانیکی که باید به وسیله هر تیم طراحی شود. پروژه در واقع، با انتهای باز است که بهترین جواب معلوم را از قبل ندارد. رقابت به عنوان عاملی قوی برای ایجاد انگیزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این درس نیز به‌وسیله Website حمایت می‌شود که در آن اسناد و مدارک، اطلاعات و اخبار (آخرین مهلت‌ها و تصحیحات) توسط استادان در آنجا قرار داده می‌شود و محیطی ایجاد می‌شود که دانشجویان با استادان و دیگر دانشجویان ارتباط مناسب برقرار سازند.

در سال ۲۰۰۲، پروژه طراحی به نام Grizzly مطرح شد که دانشجویان کنترل یک روبات سه چرخی را برای دنبال کردن مسیر مشخصی طراحی کردند. برنامه‌سازی میکروکنترلر 68HC11 با زبان C در این پروژه ارائه شد. در قسمت جلو روبات سپری با یک کلید اطمینان نصب شده که این همان قسمت مکانیکی است که باید طراحی شود.

---

۱. Bread Board

این دانشگاه مشغول راه‌اندازی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک است.

۶. عناوین چند پروژه تحقیقاتی در زمینه مکاترونیک

۱. مدل‌سازی سیستم مکاترونیکی شبکه‌های فازی پتری

Mechatronic of System Modeling of Fuzzy Petri-Nets

۲. کنترل حرکت بسیار دقیق برای ابزارهای ماشینی سریع

High Precision Motion Control For High Speed Machine Tools

۳. ترکیب داده و اطلاعات بر مبنای دانش

Knowledge Based Data and Information Fusion

۴. سیستم‌های هوشمند برای شبکه‌های مخابراتی

Intelligent Systems For Communication Networks

۵. تحلیل واکافت داده‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی تکامل‌یافته طبیعی

Data - Analysis and Data Mining Using Self Evolving Neural Networks

٦. روبات متحرک

Mobile Robot

۷. سیستم‌های عصبی فازی

Neuro Fuzzy Systems

۸. کنترل ارتعاشات فعال

Active Vibration Control

۹. طرح و توسعه سیستم‌های مدرن کنترل خودکار صنعتی

Design and Development of Modern Aoutmatic Control Systems

۱۰. توسعه ابزارهای نرم‌افزاری برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل

Software Tools Development For Modeling, Simulation and Control

۷. پیشنهاد

مقایسه برنامه‌های آموزشی مکاترونیک در ۴ دانشگاه کانادا نشان می‌دهد که برای ایجاد

تحول در برنامه‌های آموزشی مهندسی سنتی و نیز تقاضای روزافزون صنعت، ارائه برنامه‌ای میان‌رشته‌ای لازم است. در تنظیم برنامه آموزشی این دانشگاه‌ها هدف بهره‌برداری از نقاط قوت دپارتمان‌های مختلف ذیربط است و عموماً این برنامه میان‌رشته‌ای از همکاری بین دپارتمان‌های مهندسی مکانیک، برق و کامپیوتر تحقق یافته است. بدیهی است که دیدگاه برنامه‌ریزان در ۴ دانشگاه مزبور با هم متفاوت بوده و برنامه آموزشی هر یک بر اساس نقاط قوت دپارتمان‌های موجود در آن دانشگاه تنظیم شده است. از این رو تنظیم چنین برنامه آموزشی در کشور به نیاز صنعت و قدرت علمی دانشگاهی وابسته است که در پی ارائه رشته مهندسی مکاترونیک امکان‌پذیر است. بنابراین، هر دانشگاهی با ارزیابی نیازها و به حساب آوردن تخصص‌های موجود در رشته‌های مهندسی مکانیک، برق و کامپیوتر خود باید نسبت به برنامه‌ریزی چنین رشته‌ای اقدام کند و برنامه‌های آموزشی ارائه شده ۴ دانشگاه کانادا تنها می‌تواند خط فکری و جهت برنامه‌ریزی را برای علاقه‌مندان تدوین برنامه مشخص کند. در هر حال، نقطه مشترک تمام این برنامه‌های آموزشی به فعل درآوردن آموزش‌های ارائه شده در رشته مهندسی مکاترونیک توسط دانشجویان سال آخر است تا بدین وسیله آنان به‌جای فکر و کار با زمینه تخصصی باریک، پروژه‌ای میان‌رشته‌ای کاملی را ارائه دهند و این امر به دانشجوی در حال فراغت از تحصیل اعتماد به نفس خوبی خواهد داد تا در اجرای سایر پروژه‌ها در طی زندگی حرفه‌ای خود موفق باشد.

۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی نسبتاً جامعی در باره دوره‌های آموزشی مهندسی مکاترونیک در چند دانشگاه کانادا صورت گرفت. معلوم شد که صورت‌های متفاوتی از مهندسی مکاترونیک در دپارتمان‌های مختلف تحقق می‌یابد. در این رشته به کار گروهی میان رشته‌ای اهمیت زیادی داده می‌شود تا دانشجو تجربه انجام‌دادن کار گروهی را کسب و بتواند در آینده شغلی خود موفق‌تر عمل کند. اجرای پروژه مکاترونیکی همانند دروس نظری جزو ملزومات رشته مهندسی مکاترونیک است. این رشته مستلزم ایجاد مجموعه‌ای از آزمایشگاه‌ها به‌ویژه نوع نرم‌افزاری آن است که توسط Website پشتیبانی شود. توانایی عملکرد مکاترونیک با مؤلفه‌هایی مثل توانایی مشخص کردن سیستم کنترل مورد نیاز، انتخاب زیرسیستم‌های

کاربردی، مجتمع‌سازی زیرسیستم‌ها و توانایی رهبری یک سیستم چندرشته‌ای توصیف می‌شود. در این رشته رقابت بین دانشجویان به عنوان انگیزه‌ای قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مراجع

1. K. Self, The coining of Mechatronics, IEEE Spectrum, p.61, June 1994.
2. D.M. Auslander and C.J. Kempf, Mechatronics, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
3. T.R. Hsu, Mechatronics - an Overview, IEEE Trans, on Components, Packaging and Manufacturing Technology - Part C, Vol. 20, No. 1, pp. 4-7, January 1997.
4. M. Acar, Mechatronics Challenge for Higher Education World, IEEE Trans, on Components, Packaging and Manufacturing - Part C, Vol. 20, No. 1, pp. 14-20, January 1997.
5. Shaping the Future - New Expectations for Undergraduate Education in Science, Mathematics, Eingineering and Technology, Advisory Committee to the National Science Foundation, NSF 96-139, National Science Foundation, Washington, DC, 1996.
6. T.R. Hsu, Mechatronics in Manufacturing, The CRC Handbook of Mechanical Engineering CRC Press, Boston, pp. 13/84-13/86, 1998.
7. T.R. Hsu, Undergraduate Curriculum Development in Mechatronic Systems Engineering, ABET Annual Meeting Proceedings, an Invited Paper, Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc., Baltimore, MD, pp. 140-147, 1996.
8. T.R. Hsu, Mechatronics for Undergraduate Mechanical Engineering Education, Proc. of ASEE Annual Conference, Anaheim, CA, June 25-28,

pp. 1312-1324, 1995.

9. Furman, B.J., et al., Laboratory Development for Mechatronics Education, Proc. of Annual of the American Society of Engineering Educaiton, Washington, DC, June 27, 1996.
10. W.T. Cathey, Recommendations Concerning Optoelectronics Education, Opt. Photon. News, Vol. 1, No. 9, p. A-4 Sept. 1990.
11. W.T. Cathey, Recommendations for Optoelectronics Education, Opt. Photon. News, Vol. 2, No. 3, pp. 15-18, March 1991.
12. J.C. Palais, N.C. Gallagher and H. Stark, Photonics Enrichment of the EE Curriculum, IEEE Trans. on Education, Vol. 35, No. 2, pp. 103-108, May 1992.
13. F. Boero and J.S. Chivian, A.B.S. Degree in Photonics, IEEE Trans. on Education, Vol. 35, No. 2, pp. 122-125, May 1992.
14. B.L. Anderson, et. al., Photonics Laboratory with Emphasis on Technical Diversity, IEEE Trans. on Education, Vol. 41, No. 3, pp. 194-202, August 1998.
15. W. Johnstone, et al., Photinics Laboratory Experiments for Modern Technology - based Courses, Proc. of the IEEE, Vol. 88, No. 1, pp. 41-54, January 2000.