دانشگاه شهید چمران اهواز
معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی
طرح درس ویژه درس‌های تحصیلات تکمیلی دانشگاه

نام و نام خانوادگی استاد: نوید علایی شینی	مرتبهٔ علمی: استادیار	آدرس ایمیل: n.alaei@scu.ac.ir navid_alaei@yahoo.com
دانشکده: مهندسی	گروه: مهندسی برق	نیمسال تحصیلی: نیمسال دوم ۹۹-۹۸
دورهٔ تحصیلی: کارشناسی ارشد و دکتری	نام درس: حسگرهای نیمه هادی (مباحث ویژه)	تعداد واحد: ۳ واحد

جایگاه درس در برنامه درسی دوره:

این درس به عنوان یکی از دروس تحصیلات تکمیلی گرایش افزارههای میکرو و نانو الکترونیک به صورت مباحث ویژه تدوین گردیده است. این درس از دروس کاربردی دوره تحصیلات تکمیلی مهندسی برق-الکترونیک است. کاربرد بودن این درس به این علت است که امروزه حسگرها در محیط اطراف ما (ماشین، خانه و لوازم خانگی و ...) به فراوانی یافت می شوند و درک عمیق از شیوه رفتار این قطعات الکترونیکی می تواند به طراحیهای مهندسی و کاربردهای جدید در این زمینه منجر شود. از جمله کاربردهایی که چند ساله اخیر مورد توجه قرار گرفته اند می توان به کاربرد حسگرها در اینترت اشیا و خانه های هوشمند و خودروهای تمام برقی اشاره کرد. این درس علاوه بر گرایش افزارههای میکرو و نانوالکترونیک برای سایر گرایشهای الکترونیک (مدارهای مجتمع و دیجیتال) نیز می تواند مفید باشد. علاوه بر این با توجه به کاربردهای روزافزون حسگرها در صنعت برق و صنایع متنوع دیگر از جمله نفت و گاز، خودروسازی، کشاورزی، پزشکی، ایمنی و همچنین کاربردهای خانگی، موضوع حسگرها کاملاً بین رشتهای است و آشنایی با مباحث اولیه ارایه شده در این درس میتواند برای سایر گرایشهای تحصیلات تکمیلی در مهندسی مفید باشد.

هدف کلی:

آشنایی با تعاریف و ویژگیهای عمومی و دسته بندی حسگرها و آشنایی و توجیه رفتار حسگری برای خانواده-های مختلف حسگرها بر اساس اصول فیزیکی، رفتارهای الکترومغناطیسی، الکترونیکی و خواص نیم رسانایی آنها و همچنین محاسبات الکترونیکی مربوط به هر خانواده از حسگرها. علاوه بر این آشنایی با کاتالوگ خوانی حسگرها و تحلیل نمونههایی از مدارات کاربردی مبتنی بر حسگر اهداف کلی این درس هستند.

اهداف یادگیری:

در این پایان این درس انتظار می رود دانشجو اطلاعات زیر را کسب نماید و قابلیت تحلیل موارد زیر را کسب نماید:

- شناخت حسگر و مبدل و بیان شباهت و تفاوت آنها
- شناخت ویژگیهای عمومی حسگرها (دقت، صحت، حساسیت، انتخابگری، نویزپذیری، هیسترزیس و ...)
- آشنایی اولیه با انواع حسگرها و دسته بندی حسگرها بر اساس فناوری، ساختار، اصول فیزیکی حاکم بر رفتار.
- آشنایی با تابش جسم سیاه و طیف الکترومغناطیس و انرزی هر طیف و آشنایی با انواع حسگرهای نوری و کاربرد آنها و کمیتهای آنها و محاسبات حساسیت و بازده و پاسخدهی آنها و آشنایی با آرایه آشکارسازهای **CCD** و **CMOS** و آرایه های میکروبالومتر.
- آشناسی اصول فیزیکی حاکم بر حسگرهای مغناطیسی، آشنایی با ویژگیهای مغناطیسی مواد مختلف، آشنایی با انواع حسگرهای مغناطیسی و شیوه طراحی و محاسبات آنها.

- آشنایی با ابررساناها و کاربرد پیوند جوزفسون در حسگرهای مغناطیسی.
- آشنایی با اصول و کاربردهای حسگرهای خازنی و معرفی پیروکسی متر خازنی و مقایسه با نوع سلفی.
- شناخت اثر پیزوالکترویک و کاربردهای این اثر در حسگرها.
- بیان انواع حسگرهای دما و اصول فیزیکی و مواد مورد استفاده در هر نوع و کاربردهای صنعتی حسگرهای دما.
- بیان ضرورت حسگری گاز و انواع سازوکارهای حسگری گاز.
- شناخت بینی مصنوعی و مقایسه با بینی پستانداران و بیان انواع بینی مصنوعی ساخته شده و شناخت مراحل طراحی و اجرای بویایی ماشینی با مثالهای از فناوری ایجاد شده در کشور ایران.
- شناخت حسگرهای گاز الکتروشیمیایی و کاربرد آنها در صنعت خودرو.
- آشنایی با حسگرهای گاز مبتنی بر تغییرات در تابع کار.
- آشنایی با حسگرهای پیزورزیستیو و محاسبات آنها و بیان کاربرهای صنعتی حسگرهای مقاومت فشاری.

رفتار ورودی:

انتظار است دانشجو از قبل با دروس فیزیک الکتریسیته و الکترومغناطیس آشنایی کافی داشته باشد. رفتار مقاومت ، خازن و سلف و رفتار دیود و رفتار ترانزیستورهای BJT و FET را بشناسد و بتواند این رفتارها را تحلیل نماید.. همچنین مفاهیم گذردهی مغناطیسی و ضریب دی الکتریک و قوانین مغناطیس و مدارهای مغناطیسی را به خوبی درک کرده باشد و با محاسبات مربوطه آشنا باشد و همچنین با درس فیزیک الکترونیک به عنوان پایه درک رفتارهای الکترونیکی مواد نیمه رسانا آشنا باشد. ترازهای انرژی و مفاهیم نوار انرژی و مفهوم تابع کار آشنا باشد. با طیف الکترومغناطیسی و محدوده‌ای مرئی و IR و UV آشنایی مقدماتی داشته باشد. همچنین با فاهیم فیزیک جدید (فوتون و تابش جسم سیاه و ابررسانایی) آشنایی اولیه داشته باشد. علاوه بر این مناسب است که دانشجو با فن آوری ساخت افزاره های نیم رسانا (روشهای ایجاد لایه نازک و نفوذ و اکسیداسیون و ..) آشنا باشد.

مواد و امکانات آموزشی:

امکانات مورد نیاز عبارتند از یک کلاسبا فضای مناسب و وایت برد و سیستم ویدیو پروژکتور. اگرچه فایلها از قبل از کلاس در اختیار دانشجویان قرار داده می شود، ولی نیاز است که دانشجویان وسایل یادداشت برداری نیز به همراه داشته باشد و توضیحات تکمیلی را برای درک بهتر و جلوگیری از فراموشی یادداشت نمایند.

روش تدریس:

تدریس به صورت ارایه مطالب در قالب فایلهای پاورپونت و همچنین نوشتن بر وایت بورد برای توضیح و تکمیل مطالب است. پاوریونتها با استفاده از کتابهای مرجع (ذکر شده در قسمت منابع) و سایتهای شرکتهای سازنده حسگرها گردآوری و تدوین شده اند. در حین تدریس مرتباً به صورت هدفمند از دانشجویان سوال خواهد شد تا میزان درک دانشجویان از مطالب ارایه شده سنجیده شود و دانشجویان در تدریس مشارکت داده شوند.. همچنین موضوعات تحقیقی به دانشجویان معرفی می شود تا در زمینه های مرتبط با موضوع درس پژوهش کرده و در کلاس در حضور سایر دانشجویان به صورت سمینار ارایه دهند تا ضمن تمرین تحقیق دانش خود را حداقل در یک زمینه عمق بیشتری دهند. علاوه بر این دانشجویان تشویق می شوند که یکی از حسگرهای مورد بحث

در درس را در عمل پیاده سازی و ارزیابی نمایند.

وظایف دانشجو:

حضور منظم در کلاس درسی و پیگیری مطالب درسی و همراه داشتن مطالب درسی هر جلسه از وظایف دانشجوی این درس است. علاوه بر این انتظار می رود که دانشجویان در مباحث درسی با علاقه موارد بحث شوند و برای درک بهتر خود طرح سوال نمایند. همچنین انتظار این است اگر دانشجویان عزیز در موردی که به عنوان پیش نیاز (که در بند رفتار ورودی ذکر شده است) این درس در نظر گرفته شده، احساس ضعف علمی می کنند. در هر جلسه ای که ضعف در مفهومی را دریافت، به سرعت (در فاصله دو جلسه کلاس) این ضعف را رفع نمایند، تا بتوانند همگام با درس پیش روند و نتیجه آموزشی خوبی از حضور در جلسات کلاس کسب نمایند. همچنین انتظار می رود دانشجویان در یافتن زمینه های جدید برای انجام تحقیق به روش علمی و با حفظ امانت داری نهایت تلاش خود را به کار گیرند و در ارایه مطالب شیوه علمی را در پیش گیرد. همچنین با توجه به اینکه این درس از دروس کاربردی مهندسی است انتظار می رود که با علاقه مندی به انجام یک پروژه کوچک عملی مرتبط با حسگرهای بحث شده در درس بپردازد.

شیوه آزمون و ارزیابی:

نیم ترم: ۶ تا ۸ نمره
پایان ترم: ۸ تا ۱۰ نمره
پروژه و تحقیق: ۴ نمره

ارزیابی شامل آزمونهای کتبی نیم ترم و پایان ترم و پروژه و تحقیق است. در ارزیابی های کتبی وزن متغیر در نظر گرفته می شود. بدین صورت که اگر نمره نیم ترم از پایان ترم بهتر باشد نیم ترم ۸ نمره ای و پایان ترم هم ۸ نمره ای منظور می شود و اگر پایان ترم بهتر از نیم ترم باشد، نیم ترم ۶ نمره ای و پایان ترم ۱۰ نمره ای در نظر گرفته خواهد شد.

منابع درس:

❖ کتب مرجع مورد استفاده دراین درس عبارتند از:

1- Kalantar-Zadeh, Kourosh. ***Sensors: an introductory course.*** Springer Science & Business Media, 2013.
2- Budzier, Helmut, and Gerald Gerlach. ***Thermal infrared sensors: theory, optimisation and practice.*** John Wiley & Sons, 2011.
3- Streetman, Ben G., and Sanjay Banerjee. ***Solid state electronic devices***. Prentice-Hall of India, 2001.
4- Tumański, S. ***Handbook of magnetic measurements.*** CRC Press, 2011.
5- W. Y. Du, ***Resistive, capacitive, inductive, and magnetic sensor technologies.*** CRC Press, 2014.
6- Ikeda, Takurō. ***Fundamentals of piezoelectricity.*** Oxford university press, 1996.
7- Arnau, Antonio, ed. ***Piezoelectric transducers and applications.*** Heidelberg: Springer, 2004.
8- Heywang, Walter, Karl Lubitz, and Wolfram Wersing, eds. ***Piezoelectricity: evolution and future of a technology.*** Vol. 114. Springer Science & Business Media, 2008.
9- Tritt, T. M., and D. M. Rowe. ***Thermoelectrics handbook: macro to nano.*** CRC Press, 2005.

10- Pertijs, Micheal AP, and Johan Huijsing**.** ***Precision temperature sensors in CMOS technology.*** Springer Science & Business Media, 2006.
11- Korotčenkov, Gennadij Sergeevič. ***Handbook of Gas Sensor Materials: Properties, Advantages and Shortcomings for Applications.*** *New Trends and Technologies*. Springer, 2014.
12- Eranna, G. ***Metal oxide nanostructures as gas sensing devices.*** CRC press, 2016.
13- Patel, Himanshu K. ***The electronic nose: Artificial olfaction technology.*** New Delhi: Springer India, 2014.
14- Eggins, Brian R. ***Biosensors: an introduction.*** Springer-Verlag, 2013.
15- Fleischer, Maximilian, and Mirko Lehmann, eds. ***Solid State Gas Sensors-Industrial Application.*** Vol. 11. Springer Science & Business Media, 2012.
16- Serp, Philippe, and José Luís Figueiredo, eds. ***Carbon materials for catalysis.*** John Wiley & Sons, 2009.
17-

❖ علاوه بر کتب ذکر شده در این درس از مقالات نشریات معتبر **ISI** و پایان نامه های دکتری و درگاههای اینترنتی شرکتهای سازنده حسگرها نیز استفاده شده است.

هفتهٔ یکم
(۹۸/۱۱/۵ تا ۹۸/۱۱/۱۱)

- معرفی درس (سرفصل، روش ارزیابی و معرفی منابع)
- تعریف حسگر و مبدل
- معرفی خانواده های حسگرها
- معرفی کاربردهای متنوع حسگرها
- بیان ویژگی های عمومی حسگرها در دو دسته استاتیکی و دینامیکی
- معرفی دقت، صحت، تکرارپذیری، قابلیت تکرار، انتخابگری، هیسترزیس، نویز و ... برای حسگرها

هفتهٔ دوم

- معرفی طیف الکترومغناطیس و معرفی محدوده های مرئی، مادون قرمز و UV و معرفی انرژی فوتون هر محدوده طیف.
- معرفی قانون تابش جسم سیاه و قوانین وین و بولتزمن و مثال از محاسبه انرژی تابشی.
- معرفی کمیتهای شدت و شارش نور (لوکس و لومین و شمع)
- معرفی آثار فوتونی (فتوالکتریک، فتوکانداکتیو، فتوولتاییک و ...)
- معرفی حسگرهای ضرب کننده نوری، سلول خورشیدی و PN و PIN)
- معرفی ضریب جذب وابستگی آن به فرکانس در مواد الکترواپتیکی معروف
- آشنایی با کمیتهای مهم مقایسه ای حسگرهای نوری (پاسخدهی، بازده کوانتمی، طول موج قطع، گیرندگی، جریان تاریک، نویز معادل توان و محاسبات مربوطه)

هفتهٔ سوم

- معرفی ساختار حسگر بهمنی و ضریب تقویت آن و مقایسه با ساختار دیود زنر
- معرفی مدار معادل سلول خورشیدی و ناحیه کارکرد آن در مقایسه با فتودیود
- معرفی دیود شاتکی و نحوه عملکرد آن
- مثالهایی از آشکارسازهای نوری ساخته شده در کشور ایران
- معرفی پنجره های نوری با مواد معروف
- معرفی آشکارساز مادون قرمز میکربالومتر
- معرفی نسلهای مختلف تصویربردارهای مادون قرمز
- مقایسه آرایه های CCD با نوع CMOS
- مثالهای از دوربینهای مادون قرمز در کاربردهای صنعتی و نظامی

هفتهٔ چهارم

- معرفی آثار مغناطیسی جالب توجه در دنیای علم و برنده جوایز نوبل
- معرفی دو قطبی مغناطیسی و گذردهی مغناطیسی و منحنی مغناطیس شوندگی
- معرفی واحدهای الکترومغناطیس شامل وبر، آمپر متر و تسلا و ارتباط آنها با یکدیگر
- معرفی مواد مغناطیسی (نرم، سخت و نیمه سخت)
- تقسیم بندی انواع حسگرهای مغناطیسی براساس آثار آنها
- معرفی حسگر هال و محاسبه ولتاژ هال و حساسیت ولتاژی و جریانی آن
- بررسی کاتالوگ انواعی از حسگر هال
- کاربرهای حسگر هال
- حسگر صفحه هال با ساختار ترانزیستور FET

هفتهٔ پنجم

معرفی حسگرهای القایی

- انواع و ساختارها
- محاسبات اندوکتانسی ساختارهای مختلف
- معادلات و اصول فیزیکی عملکرد حسگرهای مغناطیسی (قانون بیوساوار، جریان ادی، اثر پوستی، اثر پیروکسی متری)
- انواع حسگرهای القایی با هسته هوایی
- مشاهده کاتالوگ نمونه ای از نوع هسته هوایی

هفتهٔ ششم

حسگرهای با هسته فرومغناطیس

- پروبهای مغناطیس بررسی سطح و بررسی از خارج و داخل (OD و ID)
- عملکردهای مطلقاً تفاضلی، انعکاسی و ترکیبی برای حسگرهای القایی
- پیروکسی متر القایی
- کاربردها (نیروسنج جریان ادی،بررسی کیفیت جدیده کاری درون سوراخ)

حسگرهای القایی نوع ترانسفورماتوری

- معرفی حسگر LVDT و بررسی مدار خواندن و کاتالوگ آن
- معرفی حسگر RVDT و بررسی کاتالوگ آن
- معرفی حسگر شار گیت FLUX GATE و انواع ساختارهای آن
- آشنایی با حسگر سینکرو

آشنایی با حسگر رزولور

هفتهٔ هفتم

حسگرهای مقاومت مغناطیسی (MAGNETORESISTOR)

- **تعریف حساسیت این نوع حسگر**
- **حسگرهای مقاومت مغناطیسی (OMR, AMR , GMR)**
- **تکنیک باربر پل**
- **معرفی نمونه تجاری از پل از نوع AMR**
- **معرفی نمونه تجاری از پل از نوع GMR**
- **حسگرهای مقاومت مغناطیسی (TMR, BMR, CMR)**

هفتهٔ هشتم

حسگرهای مغناطیسی SQUID

- **معرفی پدیده ابررسانایی**
- **پارامترها و مشخصه های الکتریکی و دمای ابررسانا**
- **اثر میسنر**
- **زوج کوپر**
- **اتصال جوزفسون**
- **حسگر SQUID در دو نوع AC و DC**

هفتهٔ نهم

حسگرهای خازنی

- **انواع این حسگرها**
- **معرفی مواد دی الکتریک**
- **محاسبه ظرفیت خازنی در آرایش‌های مختلف**
- **مزیتهای حسگرهای خازنی و مقایسه با نوع سلفی**
- **مثالهایی متنوع از کاربردهای عملی حسگرهای خازنی**
- **خاصیت پیزوالکتریک در مواد**
- **مدار معادل الکتریکی یک سیستم پیزوالکتریک**
- **کاربردهای حسگرهای پیزوالکتریک**

بررسی کاتالوگ نمونه هایی از حسگرهای پیزوالکتریک

هفتهٔ دهم

حسگرهای دمایی (نوع مقاومتی)

- **حسگرهای نوع مقاومتی در مقایسه با انواع حسگرهای دمای**
- **اساس کارکرد** RTD
- **حل مساله از** RTD
- **مشکل خودگرمایشی در** RTD
- **روشهای اندازه گیری (دو سیمه، سه سیمه و چهار سیمه)**
- **اثر ترمورزیست در نیم رساناها**
- **انواع ترمیستورها** (PTC, NTC, SILISTOR)

هفتهٔ یازدهم

حسگرهای ترموالکتریک (ترموکوپلها و ...)

- **معرفی آثار ترموالکتریک (سی بک، پلتیر، تامسون)**
- **معرفی ضرایب آثار ترموالکتریک**
- **مواد ترموالکتریک و معرفی ضریب شایستگی**
- **معرفی ترموکوپلها و قوانین تحلیل آنها**
- **جبران سازی نقطه سرد**

حل مثالهای از محاسبه دما با استفاده از جداول استاندارد

هفتهٔ دوازدهم

حسگرهای دمای مدار مجتمع

- **محاسبه ایجاد ولتاژ خطی با دما با** BJT
- **مثالهایی از حسگرهای مدار مجتمع تجاری**

حسگرهای گاز

- **لزوم به کارگیری و کاربردهای حسگرهای گاز**
- **دسته بندی حسگرهای گاز**
- **معرفی ساختارها و فیزیک عملکرد انواع حسگر گاز**
  - **مقاومتی**
  - **الکتروشیمیایی**
  - **نوع** FET
  - **نوری**
  - **حساس به جرم**
  - **ترمومتریک**

هفتهٔ سیزدهم

حسگرهای گاز از جنس اکسیدهای فلزی

- **معرفی اکسیدهای فلزی نوع N و P**
- **اساس کارکرد حسگرهای اکسید فلزی بس بلورین نوع N و P**
- **معرفی نمونه های تجاری و بررسی کاتالوگی**
- **معرفی حساسیت برای حسگرهای گاز نوع مقاومتی**
- **راههای بهبود ویژگی های حسگرهای گاز اکسید فلزی**

هفتهٔ چهاردهم

بینی الکترونیکی

- **انواع بویایی ماشینی ونحوه عملکرد آنها**
- **بویایی پستانداران و مقایسه با ماشین بویایی**
- **بینی الکترونیکی مبتنی بر آرایه حسگر**
  - **آرایه حقیقی**
  - **آرایه مجازی**
- **بینی الکترونیکی بر پایه آرایه مجازی**
  - **روش مسیر میکروفلوئیدیک برای عبور گاز**
  - **روش مدولاسیون دمایی**
- **مثالهای از نتایج ساخت و اجرای بینی الکترونیکی در آزمایشگاه EML در ایران**

هفتهٔ پانزدهم

حسگرهای گاز مبتنی بر تابع کار

- **انواع جذب به سطح و بررسی سازوکار و معادلات**
  - **فیزیکی**
  - **شیمیایی**
- **وابستگی تابع کار به صفحات کریستالی سطح در فلزات**
- **تغییر تابع کار با جذب گاز به سطح فلز**
- **مثالهایی از حسگرهای گاز شاتکی**
- **حسگرهای با ساختارهای گرافنی**
- **حسگرهای با ساختار FET با گیت حساس**

هفتهٔ شانزدهم

حسگرهای پیزورزیست

- **معرفی اثر پیزورزیست و مقایسه با پیزوالکتریک**
- **محاسبه تغییر مقاومت با تغییر شکل**
- **محاسبه ضریب پیزورزیست**
- **اثر پیزورزیست در نیمه رساناها**
- **معرفی معالات ماتریسی و تانسوری پیزورزیستها**
- **مثال محاسباتی از پیزورزیست**
- **ساخت پیزورزیست (لایه نازک، نفوذی و ...)**
- **مثالهایی از کاربرد اثر پیزوالکتریک در حسگرهای مختلف (LOADCELL، فشارسنج و...)**