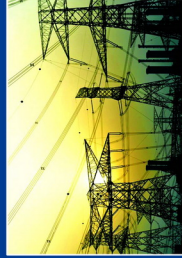


آشنایی با مهندسی برق

مولفان:

- دکتر حامد امین زاده (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)
- دکتر فرزانه شایق (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)
- دکتر سید جواد جوادپقدم (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)
- دکتر مسعود هوشمند کفاشیان (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)
- دکتر سیداحمد قهیپنده اکبریان (عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی خراسان)



مؤلفان: دکتر حامد امین زاده، فرزانه شایق، سید جواد جوادپقدم، مسعود هوشمند کفاشیان، سیداحمد قهیپنده اکبریان، حامد امین زاده، فرزانه شایق، سید جواد جوادپقدم، مسعود هوشمند کفاشیان

آشنایی با مهندسی برق

Introduction to Electrical Engineering



کتاب حاضر شامل ۵ فصل است که چهار فصل اول آن به گرایش های اصلی مهندسی برق یعنی الکترونیک، قدرت، مخابرات و کنترل اختصاص دارد. فصل پنجم شامل مباحثی بر مهندسی پزشکی است که به دلیل اهمیت و ارتباط تنگاتنگ آن با مهندسی برق، در کتاب گنجانیده شده است. هر فصل توسط یک فرد مجرب و تا حد امکان به زبان ساده نوشته شده است.

از آنجایی که هدف اصلی این کتاب آشنایی مقدماتی فرد با مهندسی برق بوده سعی نموده ایم که تا حد امکان مطالب را به شکل ساده، روان، جذاب و به کمک شکل ها ارائه کنیم و از ارائه جزئیات و روابط ریاضی بهره نبریم. مطالب مرتبط با همه گرایش ها به شکل ابتدائی آورده شده اند تا خواننده با یادگیری و فهم آنها نگرش درستی نسبت به همه گرایش های مهندسی برق داشته باشد و بر مبنای آن، علاقمندی اصلی خود را تشخیص دهد.



به نام خدا

آشنایی با مهندسی برق

مؤلفان:

دکتر حامد امین زاده (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)

دکتر فرزانه شایق (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)

دکتر سیدجواد جواد مقدم (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)

دکتر مسعود هوشمند کفایشیان (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)

دکتر سیدمحمد فهمیده اکبریان (عضو هیئت علمی مؤسسه آموزش عالی خراسان)

عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با مهندسی برق / مؤلفان: حامد امین زاده... [و دیگران]
مشخصات نشر	: مشهد: انتشارات خط اول، ۱۳۹۴
مشخصات ظاهری	: ۱۲۴ ص:، مصور، جدول، نمودار
شابک	: 978-600-95208-4-8
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: مؤلفان: حامد امین زاده، فرزانه شایق، سیدجواد جوادى مقدم، مسعود هوشمند، سیدمحمد فهمیده
موضوع	: مهندسی برق
شناسه افزوده	: امین زاده، حامد، ۱۳۶۱-
رده بندی کنگره	: TK۱۴۵/۵ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۰۷۲۵۳۶



تلفن: ۰۵۱۳۷۵۲۹۹۹۳

www.khate-aval.com

info@khate-aval.com

نام ناشر: انتشارات خط اول

نام کتاب: آشنایی با مهندسی برق

مؤلفان: حامد امین زاده، فرزانه شایق، سیدجواد جوادى مقدم، مسعود هوشمند، سیدمحمد فهمیده

ویراستار: حامد امین زاده

صفحه آرا: نفیسه اسماعیلی

شمارگان: ۵۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / زمستان ۱۳۹۴

چاپخانه: معین

قیمت: ۷۰۰۰ تومان

تعداد صفحه: ۱۲۴ ص (وزیری)

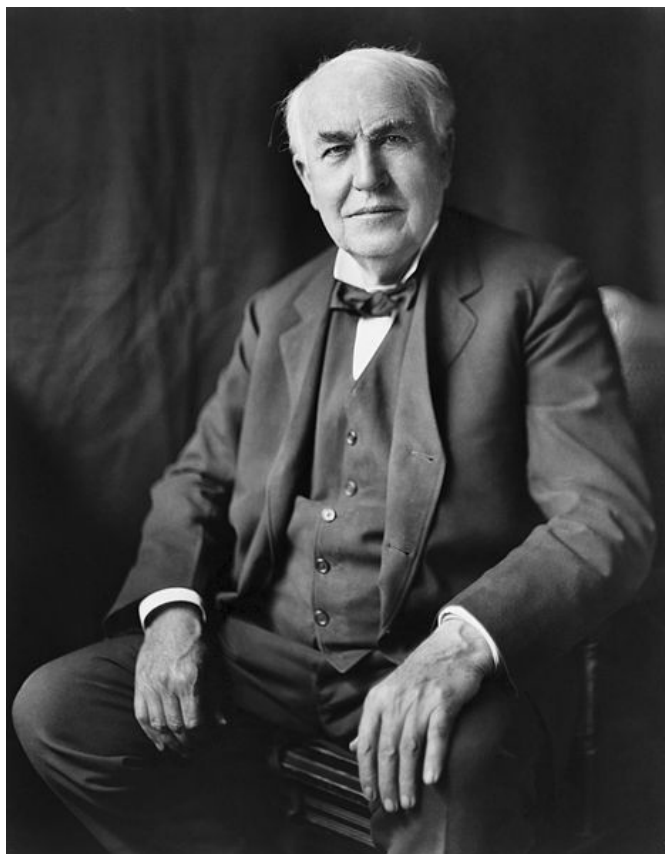
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۵۲۰۸-۴-۸

نمایندگی فروش: مشهد- خیابان سعدی- بازارچه کتاب- شماره ۲۵- کتابفروشی درخشش

تلفن: ۰۵۱۳۲۲۵۱۹۲۳

اصفهان- میدان شهدا- خیابان کاوه- کوی ولی عصر- پلاک ۴۱۹- مؤسسه کتاب کیمیا اصفهان

تلفن: ۰۳۱۳۴۴۸۰۲۸۵ - ۰۳۱۳۴۴۸۴۰۲۰



توماس آلوآ ادیسون (۱۸۴۷-۱۹۳۱)، تاجر و مخترع آمریکایی؛ هنگامی که در سنین نوجوانی مدرسه را به دلیل مشکلات شنوایی ترک کرد کمتر کسی فکر می کرد که این پسر بچه کوچک، روزی به یکی از بزرگ ترین دانشمندان عصر حاضر تبدیل شود. ماحصل زندگی این مرد بزرگ، بیش از هزار اختراع ثبت شده است که برخی از آنها به طرز شگفت انگیزی زندگی بشر را تغییر داده اند. از جمله اختراعات وی می توان به دوربین فیلم برداری، باتری و از همه مهم تر لامپ روشنایی اشاره کرد.

تقديم به حضرت ولی عصر (عج)

سخنی با خوانندگان

پروردگار را شکر گذاریم که به ما توفیق داد تا با نگارش کتاب آشنایی با مهندسی برق، قدم کوچکی در معرفی هر چه بهتر این رشته به دانشجویان و خوانندگان گرامی برداریم. کتاب پیش روی، شامل ۵ فصل است که چهار فصل اول آن، به گرایش‌های اصلی مهندسی برق یعنی به ترتیب الکترونیک، قدرت، مخابرات و کنترل اختصاص دارد. فصل پنجم شامل مقدمه‌ای بر مهندسی پزشکی است که به دلیل اهمیت و ارتباط تنگاتنگ آن با مهندسی برق، در این کتاب گنجانیده شده است. هر فصل، توسط یک فرد مجرب در آن رشته و تا حد امکان به زبان ساده نوشته شده و در نگارش آن از منابع متعددی همچون اینترنت و کتاب‌های پایه‌ای استفاده شده است. از آنجایی که هدف اصلی کتاب، آشنایی مقدماتی فرد با مهندسی برق می‌باشد سعی نموده‌ایم که تا حد امکان مطالب را به شکل ساده، روان، جذاب و به کمک شکل ارائه کنیم و از ارائه جزئیات و روابط ریاضی بپرهیزیم. ترتیب فصل‌ها، به دلیل اهمیت و برتری یک گرایش نسبت به دیگری نیست بلکه بر مبنای ترتیب رایج در دفترچه‌های کنکور و با در نظر گرفتن حفظ انسجام مطالب کتاب انجام شده است. فصل اول، به گرایش الکترونیک اختصاص دارد. پس از مروری بر پیشینه تاریخی این علم، افزاره‌های نیمه‌رسانا، قطعات فعال و قطعات غیرفعال بحث می‌شوند. آشنایی با زیرشاخه‌های گرایش الکترونیک، مشکلات پیش روی در طراحی مدارهای الکترونیک و طراحی با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، از دیگر مطالب فصل اول هستند. در نهایت این فصل را با بررسی جایگاه الکترونیک در ایران و جهان از ابعاد مختلف، به پایان می‌بریم. فصل دوم، به گرایش قدرت اختصاص دارد. پس از مروری بر پیشینه تاریخی این گرایش و نقش آن در تولید، انتقال و تبدیل انرژی الکتریکی، زیرشاخه‌های اصلی گرایش قدرت مطالعه می‌شوند و مسائل مطرح در این رشته، در ایران و جهان، مورد بررسی قرار می‌گیرند. گرایش مخابرات در فصل سوم معرفی می‌شود. پس از بررسی پیشینه تاریخی و مروری بر جایگاه گرایش مخابرات در دانشگاه‌های ایران و جهان، اجزای اصلی یک سیستم مخابراتی و انواع شبکه‌ها را

معرفی می‌کنیم. گرایش کنترل موضوع فصل چهارم کتاب است. ازجمله مطالب مهم آن، بررسی پیشینه تاریخی گرایش کنترل، اهمیت آن در صنعت امروز، بررسی حس‌گرهای کاربردی در مهندسی کنترل و راهکارهای سنجش سرعت و موقعیت یک جسم دوار هستند. به‌عنوان یک مثال ساده از کاربرد مهندسی کنترل در صنعت، نحوه کنترل سرعت یک موتور الکتریکی را بررسی می‌کنیم. تمرکز اصلی فصل پنجم کتاب، بر مهندسی پزشکی و در درجه نخست، شاخه بیوالکتریک این رشته است. مشابه با سایر فصل‌ها، در ابتدا پیشینه تاریخی این رشته بحث می‌شود و پس از آن، به معرفی زیرشاخه‌های اصلی مهندسی پزشکی می‌پردازیم. مابقی فصل پنج به معرفی انجمن‌های تخصصی مهندسی پزشکی، مسائل اخلاقی در مهندسی پزشکی، نقش رایانه و حوزه‌های کاربرد گرایش بیوالکتریک اختصاص دارد.

در این کتاب فرض شده است که خواننده با نمادها و تعاریف ابتدایی مدارهای الکتریکی ازجمله اختلاف پتانسیل، جریان، توان و انرژی الکتریکی آشنا باشد. از این مقدمات که بگذریم، مطالب مرتبط با همه گرایش‌ها به شکل ابتدایی آورده شده‌اند تا خواننده با یادگیری و فهم آنها، نگرش درستی نسبت به همه گرایش‌های مهندسی برق داشته باشد و بر مبنای آن، علاقمندی اصلی خود را تشخیص دهد.

کتاب حاضر بر مبنای سرفصل پیشنهادی از سمت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تهیه شده است. از آنجایی که برخی مطالب بین همه گرایش‌ها مهندسی برق مشترک هستند، تنها در یک فصل از کتاب ارائه شده‌اند و از تکرار آنها در سایر فصل‌ها پرهیز کرده‌ایم. ازجمله این مطالب می‌توان به معرفی انجمن‌های تخصصی اشاره کرد که تنها در فصل اول گنجانده شده است.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم تا از زحمات کلیه عزیزانی که ما را در ویرایش این کتاب یاری رسانیده‌اند علی‌الخصوص خانم مهندس بنی‌هاشمی، مهندس پیمان پویا، دکتر محسن قایینی و دکتر حامد ملاحمدیان قدردانی کنیم. با وجود تلاش فراوان، نگارندگان، این اثر خالی از اشکال ندانسته و از کلیه همکاران و دانشجویان صمیمانه درخواست می‌کنند تا با ارسال نظرات و پیشنهادهای سازنده خود، ما را در اصلاح هر چه بهتر کتاب در ویرایش‌های آتی یاری کنند.

فهرست مطالب

فصل ۱: گرایش الکترونیک.....	۱۱
۱-۱ پیشینه تاریخی.....	۱۲
۲-۱ آشنایی با افزاره‌های الکترونیک و نماد آنها.....	۱۵
۱-۲-۱ قطعات فعال.....	۱۶
۲-۲-۱ قطعات غیرفعال.....	۱۷
۳-۱ معرفی زیرشاخه‌ها.....	۱۷
۱-۳-۱ فیزیک و فناوری ساخت قطعات نیمه‌هادی.....	۱۸
۲-۳-۱ الکترونیک آنالوگ و دیجیتال.....	۲۱
۴-۱ مشکلات پیش روی در طراحی مدارهای الکترونیک.....	۲۴
۱-۴-۱ نوین.....	۲۴
۲-۴-۱ تغییرات دمایی.....	۲۶
۳-۴-۱ استهلاک به مرور زمان.....	۲۷
۵-۱ طراحی با استفاده از رایانه.....	۲۷
۶-۱ گرایش الکترونیک در ایران و جهان.....	۳۰
۱-۶-۱ معرفی شرکت‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی بزرگ.....	۳۰
۲-۶-۱ معرفی انجمن‌ها و نشریه‌های معتبر.....	۳۲
۳-۶-۱ آینده پیش روی.....	۳۳
مسائل فصل اول.....	۳۵

فصل ۲: گرایش قدرت.....	۳۶
۱-۲ پیشینه تاریخی.....	۳۹
۲-۲ کلیات گرایش قدرت.....	۴۱

۴۳.....	۳-۲ معرفی زیرشاخه‌ها
۴۳.....	۱-۳-۲ سیستم‌های قدرت.....
۴۶.....	۲-۳-۲ الکترونیک قدرت و ماشینهای الکتریکی
۴۸.....	۳-۳-۲ برنامه‌ریزی و مدیریت سیستمهای انرژی الکتریکی
۴۸.....	۴-۲ مسائل روز در مهندسی برق و قدرت
۴۹.....	۱-۴-۲ شبکه‌های هوشمند توزیع برق
۵۰.....	۲-۴-۲ تولید برق با استفاده از منابع انرژی پاک و تجدید پذیر
۵۴.....	۵-۲ گرایش قدرت در ایران و جهان
۵۴.....	۱-۵-۲ معرفی چند شرکت و مؤسسه تحقیقاتی بزرگ در ایران.....
۵۶.....	۲-۵-۲ آینده پیش روی
۵۷.....	مسائل فصل دوم.....

۵۸.....	فصل ۳: گرایش مخابرات
۵۹.....	۱-۳ گرایش مخابرات در دانشگاه‌های ایران.....
۶۱.....	۲-۳ پیشینه تاریخی
۶۳.....	۳-۳-۱ اجزای یک سیستم مخابراتی
۶۵.....	۱-۳-۳ محدودیت‌های طراحی
۶۶.....	۲-۳-۳ مدولاسیون
۶۷.....	۴-۳ شبکه‌ها و مراکز مخابراتی.....
۶۸.....	۱-۴-۳ شبکه تلفن ثابت
۶۹.....	۲-۴-۳ شبکه سیار
۶۹.....	۳-۴-۳ شبکه داده.....
۷۱.....	۴-۴-۳ شبکه هوشمند.....
۷۳.....	۵-۴-۳ زیرسامانه چندرسانه‌ای آی پی
۷۴.....	۵-۳ تشکیلات و سازمان‌های مخابراتی در ایران و جهان
۷۴.....	۱-۵-۳ وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
۷۵.....	۲-۵-۳ سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی

۷۵.....	۳-۵-۳ سازمان فناوری اطلاعات ایران
۷۶.....	۴-۵-۳ سازمان فضایی ایران
۷۶.....	۵-۵-۳ شرکت ارتباطات زیرساخت
۷۶.....	۶-۵-۳ پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات)
۷۷.....	۷-۵-۳ اتحادیه بین المللی مخابرات
۷۸.....	مسائل فصل سوم

فصل ۴: گرایش کنترل ۷۹

۸۰.....	۱-۴ پیشینه تاریخی
۸۱.....	۲-۴ گرایش کنترل در دانشگاه‌های ایران
۸۳.....	۳-۴ مثال‌هایی از کاربردهای گرایش کنترل
۸۶.....	۴-۴ اساس کار کنترل‌کننده‌ها
۸۷.....	۵-۴ حس‌گرهای پر کاربرد در مهندسی کنترل
۸۸.....	۱-۵-۴ حس‌گرهای دما
۸۹.....	۲-۵-۴ حس‌گرهای بویایی
۹۰.....	۳-۵-۴ حس‌گرهای رطوبت
۹۱.....	۴-۵-۴ حس‌گرهای بار
۹۲.....	۶-۴ روش‌های سنجش موقعیت و سرعت
۹۲.....	۱-۶-۴ تاکو ژنراتور
۹۳.....	۲-۶-۴ کدکننده
۹۵.....	۳-۶-۴ تحلیل گر
۹۶.....	۷-۴ کنترل سرعت موتورهای الکتریکی
۹۶.....	۱-۷-۴ کنترل دور موتورهای جریان مستقیم
۹۷.....	۲-۷-۴ کنترل دور موتورهای جریان متناوب
۹۹.....	مسائل فصل چهارم

فصل ۵: مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک.....	۱۰۱
۱-۵ پیشینه تاریخی.....	۱۰۱
۲-۵ معرفی مهندسی پزشکی.....	۱۰۳
۱-۲-۵ سیگنال‌های حیاتی بدن.....	۱۰۳
۳-۵ زیرشاخه‌های مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک.....	۱۰۶
۱-۳-۵ ابزار دقیق و تجهیزات پزشکی.....	۱۰۶
۲-۳-۵ پردازش سیگنال‌های حیاتی.....	۱۱۵
۳-۳-۵ تشخیص خودکار بیماری با استفاده از رایانه.....	۱۱۸
۴-۳-۵ مدل‌سازی فیزیولوژی اندام‌ها.....	۱۱۹
۴-۵ انجمن‌های تخصصی مهندسی پزشکی.....	۱۲۱
۵-۵ مسائل اخلاقی و معنوی.....	۱۲۲
۶-۵ نقش رایانه در مهندسی پزشکی.....	۱۲۳
۷-۵ حوزه‌های فعالیت مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک.....	۱۲۳
مسائل فصل پنجم.....	۱۲۵

فصل ۱

گرایش الکترونیک

از سری مباحث کاربردی آشنایی با مهندسی برق، در این فصل با گرایش الکترونیک آشنا می‌شویم. مهندسی الکترونیک^۱ به بررسی راهکارهای عملی ای می‌پردازد که به منظور کنترل هوشمندانه و دقیق انرژی الکتریکی به کار گرفته می‌شوند؛ انرژی ای که الکترون‌ها نقش مهمی را در آن به عنوان حامل‌های انرژی بازی می‌کنند. مدارهای الکترونیکی از ارتباط منظم عناصر فعال (انواع نیمه‌هادی‌ها، لامپ‌های خلاء و منابع) با عناصر غیرفعال (خازن، مقاومت و سیم‌پیچ) شکل می‌گیرند. قابلیت عناصر الکترونیکی در کنترل هوشمندانه جریان الکترون‌ها، امکان تقویت سیگنال‌های الکتریکی بسیار ضعیف را فراهم نموده و ایجاد ارتباط دوطرفه در فواصل بسیار طولانی را ممکن می‌کند. قابلیت مهم دیگر برخی افزاره‌های نیمه‌هادی، امکان استفاده از آنها به عنوان کلید خودکار است که پردازش اطلاعات کد شده در مبنای دو (صفر و یک) را امکان‌پذیر می‌کند. این قابلیت، الکترونیک را به یک گرایش مهم مهندسی برق تبدیل کرده است. در این فصل با پیشینه مهندسی برق و الکترونیک آشنا می‌شویم و قطعات و نمادهای مهم در آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. علاوه بر این، به معرفی زیرشاخه‌های اصلی مهندسی برق و الکترونیک می‌پردازیم و مشکلات اساسی در طراحی مدارهای الکترونیکی را مرور می‌کنیم. امکان استفاده از رایانه به عنوان وسیله‌ای پر قدرت به منظور طراحی، تحلیل و پیاده‌سازی مدارهای الکترونیکی از جمله مباحث دیگر فصل پیش روی است. در نهایت با مطالعه وضعیت صنایع الکترونیک در ایران و جهان، چشم‌اندازی از آینده پیش روی فارغ‌التحصیلان این رشته ارائه خواهیم کرد.

¹. Electronics Engineering

۱-۱ پیشینه تاریخی

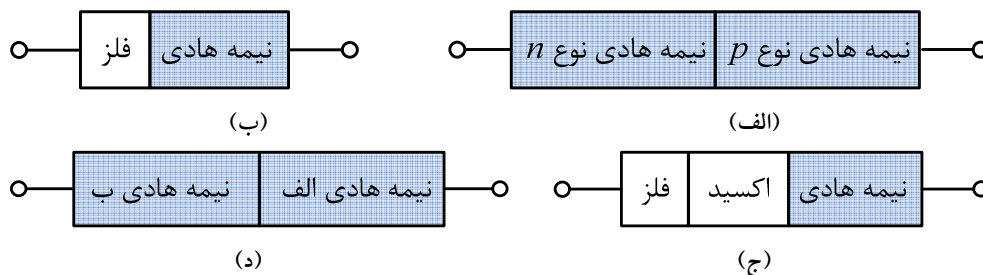
لامپ خلأ جزو اولین قطعات ساخته بشر بود که صنعت الکترونیک را در اوایل قرن بیستم متحول نمود. با استفاده از لامپ خلأ، امکان ساخت بسیاری از دستگاه‌های الکترونیکی امروزی از جمله رادیو، تلویزیون، رادار و تلفن فراهم شد. اما با اختراع ترانزیستور در اواسط قرن بیستم، لامپ‌های خلأ به تدریج جای خود را به قطعات ساخته شده از نیمه‌هادی‌ها دادند. از آن زمان به بعد، نیمه‌هادی‌ها تحول شگرفی را در زندگی بشر ایجاد کرده‌اند. از لحاظ سودآوری، صنعت الکترونیک در سال ۱۹۹۸ صنعت اتومبیل‌سازی را پشت سر گذاشته و هم‌اکنون به بزرگترین صنعت جهانی از لحاظ تعداد و تنوع فروش محصولات تبدیل شده است. مطالعه نیمه‌هادی‌ها و خواص آنها قدمتی ۱۵۰ ساله دارد. جدول ۱-۱، فهرستی از وقایع مهم تاریخی در تحول این صنعت را نشان می‌دهد. هم‌اکنون در حدود ۱۸ راهکار اصلی برای ترکیب و اتصال نیمه‌هادی‌ها به یکدیگر و به سایر عناصر وجود دارند که کلیه قطعات نیمه‌هادی بر مبنای آنها ساخته می‌شوند. به عنوان اولین دستاورد این فناوری، شکل ۱-۱-الف نحوه اتصال فلز به نیمه‌هادی را به تصویر می‌کشد. خواص این اتصال، در سال ۱۸۷۴ توسط براون بررسی گردید. وی چنین مشاهده کرد که مقاومت اهمی پیوند حاصل، به اندازه و جهت ولتاژ اعمال شده به دو سر آن بستگی دارد. چنین اتصالی بعدها به منظور ساخت اولین یکسو سازها (دیودهای الکترونیکی) استفاده شد؛ قطعه‌ای که هدایت جریان الکتریکی را تنها از یک سو انجام می‌دهند و از سمت دیگر هدایت نمی‌کند. ایده ایجاد نور با استفاده از نیمه‌هادی، برای اولین بار توسط راوند در سال ۱۹۰۷ میلادی پیشنهاد شد. وی برای اولین بار، تولید نور زردرنگ توسط بلور نیمه‌هادی را با اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به دو سر آن مشاهده نمود.

هم‌اکنون پدیده الکتروروشنایی مبنای ساخت کلیه دیودهای گسیل نوری یا لامپ‌های LED محسوب می‌شود. سیلیسیوم و ژرمانیوم مواد اصلی سازنده اغلب افزاره‌های نیمه‌هادی هستند. تحقیق بر روی خواص این عناصر عمدتاً به دهه ۱۹۴۰ میلادی بازمی‌گردد.

شکل ۱-۱-ب، نحوه اتصال دو نیمه‌هادی غیر هم نوع و ساخت اولین پیوند pn را نشان می‌دهد. پیوند pn از اتصال نیمه‌هادی نوع p (سیلیسیوم و ژرمانیوم ترکیب شده با اتم‌های سه ظرفیتی) به نوع n (ترکیب همان ماده با اتم‌های پنج ظرفیتی) ایجاد شده و مشابه با پیوند فلز - نیمه‌هادی، خاصیت یکسو سازی دارد. این پیوند جزء اصلی اغلب افزاره‌های نیمه‌هادی کنونی از جمله ترانزیستورها به شمار می‌رود. با ساخت

جدول ۱-۱ فهرستی از وقایع مهم تاریخی در فناوری نیمه‌هادی‌ها

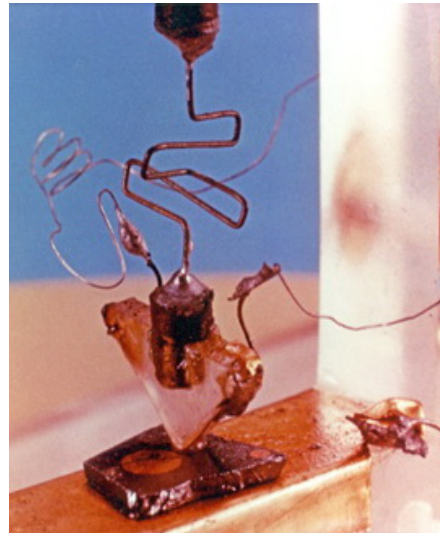
سال	عنوان	مخترع
۱۸۷۴	اتصال فلز - نیمه‌هادی	براون
۱۹۰۷	دیود گسیل نوری	راوند
۱۹۴۷	ترانزیستور دوقطبی	باردین، براتین و شاکلی
۱۹۴۹	ساخت پیوند pn	شاکلی
۱۹۵۴	سلول خورشیدی	چاپین، فولر و پیرسون
۱۹۵۷	ترانزیستور دوقطبی با پیوندهای ناهمگون	کرومر
۱۹۵۹	ساخت اولین مدار مجتمع یکپارچه	نویس
۱۹۶۰	ترانزیستور ماسفت	کانگ و آتالا
۱۹۶۲	لیزر	هال
۱۹۷۱	ساخت اولین ریزپردازنده	هاف



شکل ۱-۱ بلوک اصلی سازنده کلیه قطعات نیمه‌هادی

(الف) پیوند pn، (ب) اتصال نیمه‌هادی - فلز، (ج) آرایش فلز - اکسید - نیمه‌هادی و (د) اتصال ناهمگون.

اولین ترانزیستور دوقطبی از نوع ژرمانیوم در سال ۱۹۴۷، علم الکترونیک وارد عصر جدیدی گردید. شکل ۱-۲، شمای اولین ترانزیستور ساخته‌شده توسط شاکلی، باردین و براتین را نشان می‌دهد. ترانزیستور یک کلید خودکار است که برای قطع و وصل جریان و تقویت سیگنال‌های الکتریکی (جریان و ولتاژ)، استفاده می‌شود. از زمان کشف اولین ترانزیستور در اواخر دهه ۱۹۴۰، تعداد و تنوع محصولات الکترونیکی ساخته‌شده با آن بیش از هر محصول دیگری افزایش یافته است. این پیشرفت مدیون استفاده از فناوری‌های



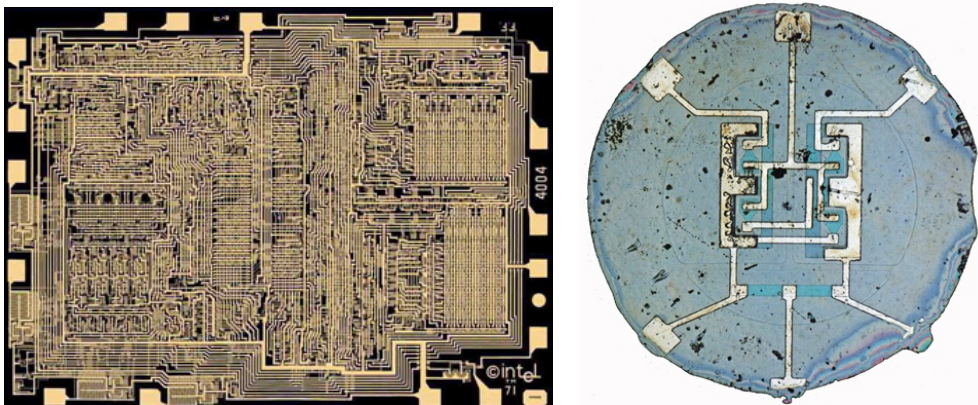
شکل ۱-۲ ساخت اولین ترانزیستور دوقطبی در سال ۱۹۴۷ میلادی.

برتر، افزایش خلوص نیمه‌هادی‌ها و امکان مدل‌سازی رفتار این قطعات بوده است. سلول خورشیدی، برای اولین بار در سال ۱۹۵۴ و بر مبنای پیوندهای pn سیلیسیومی ساخته شد. هم‌اکنون این محصول، به‌عنوان اولین گزینه در تولید انرژی الکتریکی به کمک نور به شمار رفته و قادر است نور را به‌طور مستقیم به الکتریسته تبدیل کند.

پیوند ناهمگون برای اولین بار در سال ۱۹۵۷ و از اتصال دادن دو نیمه‌هادی از جنس‌های متفاوت شکل گرفت (شکل ۱-۱ ج). می‌توان از ترکیب گالیوم و آرسنیک (GaAs) و یا آلومینیوم و آرسنیک (AlAs) برای ساخت چنین پیوندی استفاده کرد. این پیوند، نقش اصلی را در ساخت بسیاری از قطعات پرسرعت و افزاره‌های نوری دارد. شکل ۱-۱ د، اتصال مهم بعدی یعنی فلز - اکسید - نیمه‌هادی (MOS) را نشان می‌دهد. ساخت اولین ترانزیستور ماسفت در سال ۱۹۶۰ بر مبنای چنین اتصالی و توسط کانگ و آتالا انجام گرفت. قطعه مورد نظر راه را برای ساخت تراشه‌های فوق پیشرفته کنونی با میلیون‌ها ترانزیستور هموار نمود. هم‌اکنون، ترانزیستور ماسفت و مدارهای مجتمع ساخته‌شده با آن در حدود ۹۵٪ بازار جهانی الکترونیک را به خود اختصاص می‌دهند. ساخت اولین لیزر نیمه‌هادی در سال ۱۹۶۲ و توسط هال انجام گرفت. دیودهای لیزری، صنعت الکترونیک نوری را با کاربردهای متنوعی همچون دیسک فشرده (CD)،

فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۱۵

ارتباطات فیبر نوری و پرینت لیزری متحول نموده‌اند. ساخت اولین نسل از تراشه‌های مجتمع امروزی توسط کیلیبی و نویس، به اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی بازمی‌گردد. اختراع آنها مبدأ ورود الکترونیک به حوزه فناوری‌های نوین محسوب می‌شود. شکل ۱-۳-الف، ساختار داخلی اولین مدار مجتمع یکپارچه ساخته شده توسط نویس را نمایش می‌دهد. شکل ۱-۳-ب، اولین ریزپردازنده^۱ مجتمع تولید شده توسط شرکت اینتل (Intel 4004) را در سال ۱۹۷۱ نشان می‌دهد. ریزپردازنده، یک تراشه الکترونیکی با قابلیت‌های فراوان است که به منظور پردازش انبوهی از اطلاعات به کار می‌رود. هم‌اکنون، ریزپردازنده‌ها بخش قابل توجهی از بازار الکترونیک را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۱-۳ (الف) اولین مدار مجتمع (سال ۱۹۶۰) و (ب) اولین ریزپردازنده (سال ۱۹۷۱).

۲-۱ آشنایی با افزاره‌های الکترونیک و نماد آنها

هر یک از قطعات موجود در مدارهای الکترونیکی، به شکل خاصی بر روی نحوه حرکت الکترون‌ها تأثیر گذاشته و آن را کنترل می‌کند. این قطعات ممکن است به شکل تنها و یا تجمعی از مدارهای الکترونیکی کنار هم (تراشه‌های الکترونیکی) ساخته شوند. قطعات الکترونیکی را می‌توان از جنبه‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود. یک روش، دسته‌بندی این قطعات بر مبنای تولید یا مصرف انرژی است که آنها را به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم می‌کند.

^۱. Microprocessor

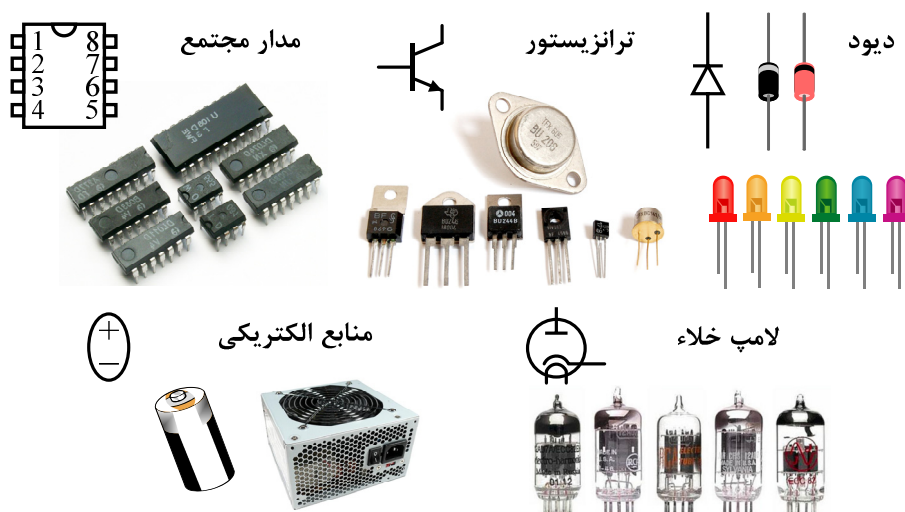
۱-۲-۱ قطعات فعال

برای انجام فعالیت، قطعات فعال نیاز به منبع انرژی خارجی دارند و معمولاً نقش تولیدکننده انرژی را در مدارها بازی می‌کنند. انواع نیمه‌هادی‌ها، لامپ‌های خلاء و منابع الکتریکی در این دسته جای دارند. شکل ۱-۴ شماری از قطعات فعال و نماد مداری آنها را نشان می‌دهد. برخی از مهم‌ترین آنها عبارت از موارد زیر هستند.

(الف) دیود: دیود، هدایت جریان الکتریکی را تنها از یک سو انجام می‌دهند و از سمت دیگر هدایت نمی‌کند. انواع یکسوسازهای نیمه‌هادی، لامپ‌های گسیل نوری (LED) و سلول‌های خورشیدی در این دسته جای دارند.

(ب) ترانزیستور: با استفاده از ترانزیستور، قطع و وصل سیگنال‌های الکتریکی و تقویت آنها ممکن می‌شود. امروزه، انواع ترانزیستورها با نمادها و نحوه عملکرد متفاوت در بازار وجود دارند.

(ج) مدار مجتمع: مجموعه‌ای از مدارهای الکترونیکی منظم در کنار هم هستند که بسته به طراحی، می‌تواند عملکرد ویژه و متفاوتی داشته باشد. تعداد پایه‌های هر مدار مجتمع به کاربرد آن بستگی دارد (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴: شماری از قطعات فعال و نماد مداری آنها.

فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۱۷

(د) لامپ خلا: این قطعات بر مبنای حرکت بارهای الکتریکی از داخل یک محفظه عاری از گاز (خلا)، کار می کنند.

(ه) منبع الکتریکی: منابع الکتریکی، تولیدکننده های انرژی در مدارها هستند. انواع باتری ها و مولدها از این دسته هستند.

۲-۲-۱ قطعات غیرفعال

قطعات غیرفعال انرژی در مدار تولید نکرده و اغلب قادر به تقویت سیگنال های الکتریکی نیز نیستند. مقاومت، خازن و سیم پیچ (سلف)، جزو این دسته محسوب می شوند (شکل ۱-۵).

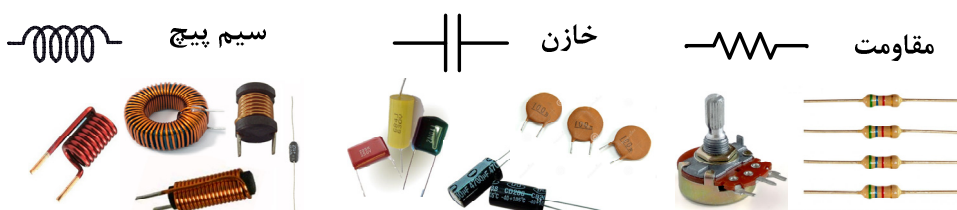
(الف) مقاومت: مصرف کننده انرژی است و جریان عبوری از آن، با ولتاژ اعمال شده به دو سرش متناسب است.

(ب) خازن: انرژی را در یک میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه ذخیره نموده و بسته به شرایط، به شکل ولتاژ الکتریکی آزاد می کند.

(ج) سیم پیچ: انرژی را در میدان مغناطیسی اطرافش ذخیره نموده و به شکل جریان آزاد می کند.

۳-۱ معرفی زیرشاخه ها

مهندسی برق و الکترونیک، به سه زیرشاخه اصلی فیزیک و فناوری ساخت نیمه هادی ها، الکترونیک آنالوگ و الکترونیک دیجیتال منشعب می شود. در این قسمت سعی داریم که هر یک از این شاخه ها را به اختصار معرفی نموده و نگاهی اجمالی به حوزه تخصصی و زمینه کاری آنها داشته باشیم.



شکل ۱-۵: شماری از قطعات غیرفعال.

۱-۳-۱ فیزیک و فناوری ساخت قطعات نیمه‌هادی

کسانی که علاقه‌مند به رشته فیزیک هستند حتماً به فیزیک نیمه‌هادی‌ها نیز علاقه‌مند خواهند بود. این گرایش از مهندسی برق و الکترونیک، به مطالعه تئوری نیمه‌هادی‌ها و بررسی خواص آنها می‌پردازد و مراحل ساخت قطعات نیمه‌هادی را شرح می‌دهد. واحد اصلی مرتبط با این تخصص در مقطع کارشناسی مهندسی برق و الکترونیک، درس فیزیک الکترونیک از دروس تخصصی رشته الکترونیک می‌باشد. مطالعه خواص فیزیکی عناصر و به‌خصوص نیمه‌هادی‌ها (سیلیسیم Si، ژرمانیوم Ge و گالیوم آرسنیک GaAs) در مقیاس اتمی، ازجمله مباحث مهم این رشته هستند. در این راستا ساختار اتمی مواد، نوارهای انرژی و چگونگی نقل و انتقال بارها بررسی می‌شوند. پس از آشنایی با خواص فیزیکی، چگونگی عملکرد اجزای سازنده افزاره‌های نیمه‌هادی ازجمله پیوند فلز-نیمه‌هادی، پیوند pn ، پیوند ناهمگون و اتصال فلز-اکسید-نیمه‌هادی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس، تئوری هر یک از افزاره‌های نیمه‌هادی مانند دیودها، ترانزیستورهای دوقطبی (BJT) و اثر میدان (جی فت JFET، ماسفت MOSFET و مادفت MODFET) به تفکیک ارائه می‌شود. در مقایسه با انواع ترانزیستورهای اثر میدان، ترانزیستور JFET قدمت طولانی‌تری داشته و کاربرد زیادی در ساخت افزاره‌های الکترونیک قدرت (قطعات نیمه‌هادی پردازش‌کننده سیگنال‌ها در مهندسی برق و قدرت) دارد. ترانزیستور ماسفت مهم‌ترین جزء در ساخت مدارهای مجتمع محسوب می‌شود و ترانزیستور مادفت، کاربرد در ساخت تقویت‌کننده‌های بسیار سریع دارد. بررسی انواع نیمه‌هادی‌های سرعت‌بالا (دیود IMPATT، عنصر الکترون انتقال‌یافته TED، دیود گان^۱)، نیمه‌هادی‌های مورد استفاده در الکترونیک قدرت (تریستور^۲، ترانزیستورهای دوقطبی با گیت عایق شده IGBT)، ادوات نوری (سلول خورشیدی، لامپ‌های LED و انواع لیزرهای نیمه‌هادی) و نهایتاً حس‌گرهای نیمه‌هادی، از زمینه‌های این زیرگرایش محسوب می‌شوند.

پروژه ساخت افزاره‌های نیمه‌هادی و مدارهای مجتمع، بخش عمده‌ای از فیزیک و فناوری ساخت قطعات را به خود اختصاص داده است. این پروژه غالباً از خالص‌سازی نیمه‌هادی تا سطوح بالا آغاز می‌شود. به دلیل نقش مهم سیلیسیم در ساخت اغلب افزاره‌های نیمه‌هادی، تسویه این عنصر با خلوص بالا و به‌صورت منظم و تک‌بلور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تلاش برای خالص‌سازی سیلیسیم قدمتی

^۱. Gunn diode

^۲. Thyristor

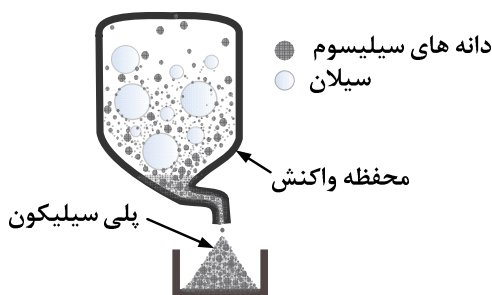
فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۱۹

۲۰۰ ساله دارد و به اوایل قرن نوزدهم میلادی بازمی‌گردد. درجه خلوص مورد نیاز، بسته به قطعه متفاوت است. به عنوان مثال، در حالی که برای ساخت سلول‌های خورشیدی به سیلیسیومی با درجه خلوص 6N (درصد خلوص 99.9999%) نیاز است، چنین خلوصی به هیچ وجه برای ساخت مدارهای مجتمع با تراکم بالا^۱ قابل قبول نیست و به بلور منظمی از سیلیسیوم با درجه خلوص 9N (تعداد نه عدد نه یا 99.99999999%) نیاز داریم. خالص سازی نیمه‌هادی‌ها با چنین درجه خلوصی، فرآیند پیچیده‌ای است که به ترکیب و تکرار چند روش نیاز دارد. یک روش تولید سیلیسیوم خالص به شکل چند بلوری یا پلی سیلیکون^۲، روش FBR است. شکل ۱-۶-الف، ساخت پلی سیلیکون به این روش را نشان می‌دهد. سیلان (SiH_4)، از قسمت پایین محفظه واکنش به داخل آن تزریق می‌شود و به همراه دانه‌های ریز سیلیسیوم تزریق شده از بالا، بستری سیال را در قسمت زیرین تشکیل می‌دهد. گاز سیلان در داخل محفظه تجزیه شده و بر روی دانه‌های سیلیسیومی معلق در فضا، سیلیسیوم بازنشانی می‌کند. این دانه‌ها به تدریج در اثر تبدیل به دانه‌های درشت‌تر ته‌نشین شده و از پایین محفظه واکنش خارج می‌شوند.

شکل ۱-۶-ب، میله پلی سیلیکون تولید شده به این روش را به تصویر می‌کشد. به هم ریختگی و انقطاع متوالی آرایش بلوری موجب می‌گردد که پلی سیلیکون بدست آمده همچنان برای ساخت اغلب نیمه‌هادی‌ها و مدارهای مجتمع، مناسب نباشد. روش چوکراسکی^۳، یک روش مطمئن برای ساخت بلور



(ب)



(الف)

شکل ۱-۶-۱ خالص سازی سیلیسیوم به روش FBR (الف) محفظه واکنش و (ب) پلی سیلیکون تولید شده به شکل میله.

^۱. Very Large Scale Integration or VLSI

^۲. Polysilicon

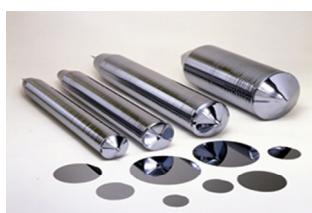
^۳. Czochralski

یکپارچه از پلی سیلیکون بدست آمده است که مراحل اجرای آن، در شکل ۱-۷ نمایش داده شده‌اند. سیلیسیوم مذاب با دمای 1425°C ، در یک ظرف مخصوص ریخته شده و یک میله کوچک سیلیسیومی با آرایش منظم اتمی در آن غوطه‌ور می‌شود. میله به شکل یکنواخت چرخانده می‌شود و به آرامی از داخل ظرف به بیرون کشیده می‌شود. در نهایت با کنترل دقیق دمای مذاب، نرخ چرخش و سرعت کشیدن میله به بیرون، میله‌ای استوانه‌ای شکل با قطر دلخواه از بلور یکپارچه بدست می‌آید. ویفر سیلیکون، از برش قطری این میله بدست آمده و بستری مناسب برای ساخت مدارهای مجتمع است. پروسه پردازش ویفر سیلیکون و ساخت مدار مجتمع روی آن، در اتاق‌های تمیزی با درجه آلودگی بسیار پایین انجام می‌شود تا آلودگی هوا، خللی در ساخت مدارها ایجاد نکند (شکل ۱-۸). پروسه ساخت مدار مجتمع بر روی ویفر خام، معمولاً بین شش تا هشت هفته طول می‌کشد و مراحل انجام آن به‌قرار زیر است.

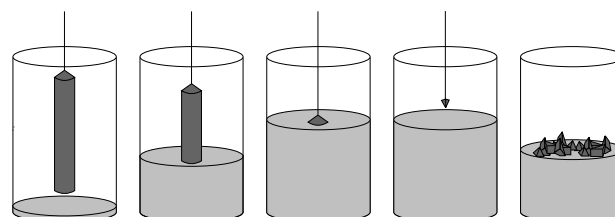
۱- لایه نشانی: شامل کلیه مراحل است که موجب پوشیده شدن قسمت‌هایی خاص از ویفر، با ماده‌ای ویژه می‌شود.

۲- حذف مواد زائد: به کلیه مراحل اطلاق می‌شود که باعث از بین رفتن و یا حذف مواد زائد از روی یک سری از بخش‌ها می‌گردد.

۳- طرح دهی یا لیتوگرافی: کلیه مراحل را دربرمی‌گیرد که باعث ایجاد شدن طرحی مشخص بر روی ویفر سیلیکونی می‌شوند. انجام این مراحل با استفاده از ماسک‌هایی است که از قبل، بر مبنای طرح مدار داده شده طراحی شده‌اند.

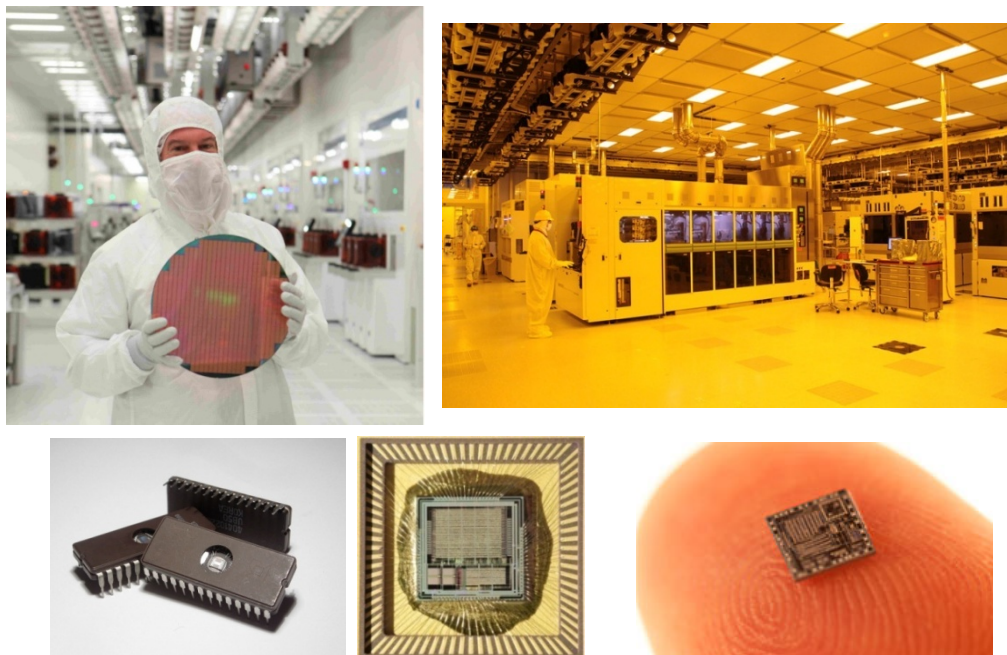


میله تک بلور سیلیکونی و ویفر حاصل



ذوب سیلیکون خالص ورود دانه کریستال آغاز رشد بلور کشیدن آرام میله میله سیلیکونی و باقیمانده سیال میله تک بلور سیلیکونی و ویفر حاصل

شکل ۱-۷ روش چوکراسکی برای ساخت بلور سیلیسیوم.



شکل ۸-۱ تولید قطعات نیمه‌هادی و مدارهای مجتمع در اتاق‌های با آلودگی بسیار پایین.

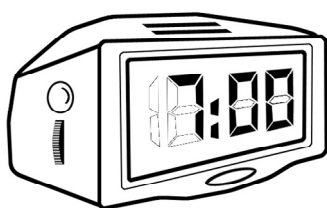
۴- اصلاح خواص الکتریکی: این مراحل با هدف اصلاح خواص الکتریکی عناصر ساخته‌شده بر روی ویفر و معمولاً با اضافه کردن ناخالصی به آن، انجام می‌شوند. پس از پایان مراحل بالا، تراشه‌های مجتمع ساخته‌شده بر روی یک ویفر با برش دقیق از یکدیگر جدا شده و پس از بسته‌بندی، برای فروش ارسال می‌شوند (شکل ۸-۱).

۲-۳-۱ الکترونیک آنالوگ و دیجیتال

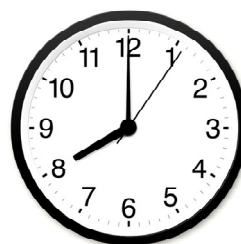
مدارهای الکترونیکی به دو دسته آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌شوند. تفاوت این مدارها به اختلاف بنیادی سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال بازمی‌گردد. سیگنال‌های آنالوگ، پیوسته در زمان و پیوسته در مقدار هستند درحالی‌که سیگنال‌های دیجیتال از هر دو نظر، ناپیوسته می‌باشند. یک مثال خوب از تفاوت دو دنیای آنالوگ و دیجیتال، تفاوت‌های میان دو ساعت آنالوگ و دیجیتال است. زمان در ساعت آنالوگ

شکل ۱-۹-الف، توسط عقربه‌هایی نشان داده می‌شود که پیوسته به گرد یک صفحه مدرج در حال گردش هستند (پیوسته در مقدار).

این عقربه‌ها هر لحظه به نقطه‌ای بر روی صفحه اشاره می‌کنند که معرف زمان کنونی است (پیوسته در زمان). در مقابل، زمان در ساعت دیجیتال با عددی ناپیوسته نمایش داده می‌شود که هر یک ثانیه به روزرسانی می‌شود (عددی ناپیوسته از لحاظ زمان و مقدار). با توجه به این دسته‌بندی، سیگنال‌های اطراف ما از نیرو و فشار گرفته تا دما و شدت نور، همگی آنالوگ هستند. ولتاژها یا جریان‌های الکتریکی آنالوگ، حاصل تبدیل مستقیم این کمیت‌های فیزیکی با استفاده از یک مبدل^۱ مناسب می‌باشند. این مبدل‌ها، پدیده‌های طبیعی را مستقیماً از شکل فیزیکی (صدا، نور، دما، فشار و موقعیت) به ولتاژ یا جریان الکتریکی تبدیل می‌کنند. به عنوان مثال، میکروفون یک مبدل الکتریکی است که تغییرات فشار وارده از صدا را به اختلاف پتانسیل الکتریکی تبدیل می‌کند. هر تغییری در شدت صدا و نوع آن باعث تغییری معادل در دامنه و شکل ولتاژ خروجی می‌شود. بنابراین هر تغییری معنادار بوده و هر سطحی از ولتاژ تولیدشده، معرف یک شدت صدای مشخص می‌باشد. به عنوان مثالی دیگر فرض کنید دمای محیط را توسط یک مبدل مناسب به ولتاژ تبدیل کرده‌ایم به گونه‌ای که تغییر ولتاژ به اندازه ۱ V، بیانگر تغییر دما به اندازه ۱°C باشد. این ولتاژ یک سیگنال آنالوگ (پیوسته در مقدار و زمان) است چراکه ولتاژ ۱۰ V (معادل تغییر دمای ۱۰°C) متفاوت از ولتاژ ۱۰.۱ V (معادل با تغییر دمای ۱۰.۱°C) خواهد بود. مدارهایی



(ب)



(الف)

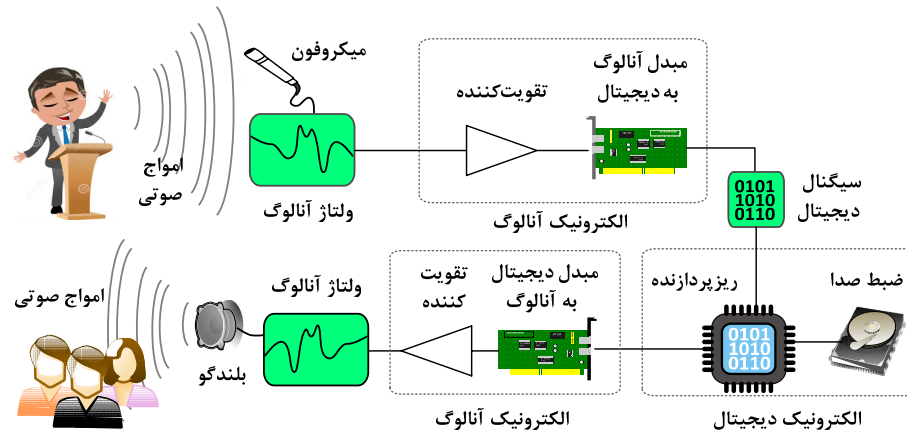
شکل ۱-۹ تفاوت میان دو ساعت رایج در بازار (الف) آنالوگ و (ب) دیجیتال.

^۱. Transducer

فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۲۳

که قادر هستند پردازش سیگنال‌های آنالوگ را انجام دهند، مدارهای آنالوگ نامیده می‌شوند. دروس تخصصی مرتبط با این مدارها در مقطع کارشناسی مهندسی برق، الکترونیک ۱، ۲ و الکترونیک آنالوگ، الکترونیک صنعتی و مدارهای مخابراتی می‌باشند. مدارهای دیجیتال تنها با سیگنال‌های گسسته تبدیل شده در مبنای دو (صفر و یک) سروکار دارند. دروس اصلی مرتبط با این شاخه در مقطع کارشناسی، طراحی و معماری سامانه‌های دیجیتال، ریزپردازنده‌ها و آزمایشگاه‌های مرتبط می‌باشند. مشکل اصلی مدارهای آنالوگ، حساسیت زیاد آنها به تغییرات ناخواسته است چراکه هر سطحی از سیگنال‌های آنالوگ، حاوی اطلاعات می‌باشد. بنابراین چنانچه به هر دلیل (اغتشاش محیط اطراف، تغییر اندازه قطعات الکترونیک، تغییر دما) این سطوح تغییر پیدا کنند، پردازش اطلاعات با تقریب و خطا مواجه می‌شوند. در مقابل مدارهای دیجیتال به دلیل آنکه تنها با دو سطح (صفر یا یک) سروکار دارند از دقت بسیار بالاتری برخوردارند. لذا مهندسان الکترونیک غالباً تمایل دارند که پردازش داده‌ها را در حوزه دیجیتال انجام دهند. بدین منظور باید اطلاعات را از فرم آنالوگ به دیجیتال تبدیل نمود و پس از اتمام پردازش مجدداً به آنالوگ تبدیل کرد.

مدارهای آنالوگی که عمل تبدیل سیگنال‌ها از آنالوگ به دیجیتال و برعکس را انجام می‌دهند به ترتیب مبدل آنالوگ به دیجیتال و مبدل دیجیتال به آنالوگ نام دارند. برای درک بهتر این موضوع، سیستم ضبط و پخش صدای دیجیتال در شکل ۱-۱۰ را در نظر بگیرید. در این شکل، حوزه عملکرد مدارهای آنالوگ و دیجیتال به وضوح از یکدیگر تفکیک شده‌اند. ولتاژ آنالوگ حاصل از صدای میکروفون، قبل از هر چیز بایستی توسط یک تقویت کننده آنالوگ تقویت شود. پس از آن باید صدای آنالوگ تقویت شده را توسط یک مبدل مناسب، به دیجیتال تبدیل نمود. سیگنال دیجیتال حاصل، قابل فهم برای ریزپردازنده است و می‌توان به عنوان مثال، اغتشاشات ناخواسته را از آن حذف نمود. حتی می‌توان آن را به شکل صفر و یک بر روی یک دیسک مغناطیسی ذخیره کرد. پس از اتمام پردازش، مجدداً باید سیگنال حاصل را از شکل دیجیتال به آنالوگ تبدیل نمود تا پس از تقویت، قابل پخش توسط بلندگو باشد. از جمله بلوک‌های مهم آنالوگ، می‌توان تقویت کننده‌ها، فیلترها، منابع تغذیه و مبدل‌های داده را نام برد. در مقابل، از جمله بلوک‌های مهم سازنده مدارهای دیجیتال، می‌توان به دروازه‌های منطقی، جمع کننده‌ها، شمارنده‌ها و رجیسترها اشاره کرد. با استفاده از این بلوک‌ها است که ساخت ریزپردازنده‌ها و



شکل ۱-۱۰ ضبط و پخش صدای دریافت شده از طریق میکروفون.

ریز کنترل کننده‌ها^۱ ممکن می‌شود. تمامی این مدارهای آنالوگ و دیجیتال، با استفاده از ترانزیستور بر روی تراشه‌های مجتمع پیاده‌سازی می‌شوند.

۴-۱ مشکلات پیش روی در طراحی مدارهای الکترونیک

در عملکرد مدارهای الکترونیکی، چالش‌هایی وجود دارند که باید اثر همه آنها در هنگام طراحی لحاظ شوند. در این قسمت به سه مشکل بنیادی مدارها یعنی نویز، تغییرات دمایی و استهلاک به‌مرور زمان اشاره می‌کنیم.

۴-۱-۱ نویز

به هر سیگنال ناخواسته الکتریکی که منشأ تصادفی داشته باشد، «نویز» گفته می‌شود. اصل وجود نویز در مدارها، به منابع متعدد طبیعی و غیرطبیعی موجود در محیط اطراف بازمی‌گردد. اشیاء پیرامون، اجرام و کرات آسمانی، سایر مدارهای الکتریکی که با برق کار می‌کنند، ماشین‌های الکتریکی، خطوط انتقال برق همه و همه می‌توانند منبع تولید نویز باشند. نویز یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در طراحی مدارهای الکترونیکی است. بدون

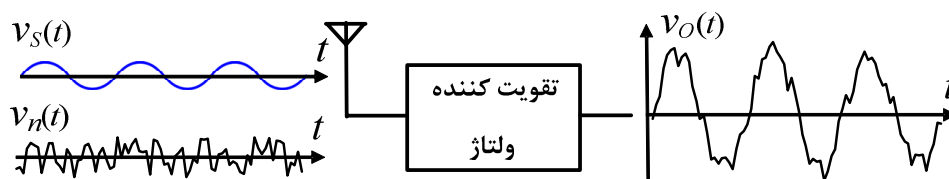
^۱. Microcontroller

نویز، طراحی مدار بسیار ساده تر از آن چیزی بود که هم اکنون با آن دست به گریبان هستیم. متأسفانه از لحاظ عملی، نویز هم در داخل مدارها و توسط عناصر تشکیل دهنده تولید می شود و هم از بیرون به داخل مدار تزریق می گردد. نویز، پیچیدگی ها و مشکلاتی را فرا روی طراح قرار می دهد که به خصوص در طراحی مدارهای آنالوگ چالش برانگیز هستند. وظیفه تقویت کننده شکل ۱-۱۱، تقویت امواج الکترومغناطیس دریافت شده از آنتن است. اما وجود نویز در محیط اطراف باعث می شود که این سیگنال های ناخواسته نیز توسط آنتن دریافت گردیده و به همراه سیگنال اصلی تقویت شوند. در نتیجه شکل موج ولتاژ تقویت شده در خروجی آلوده به نویز است. اگر سیگنال دریافتی ضعیف تر از نویز باشد، به اصطلاح در داخل نویز غرق شده و در خروجی چیزی جز نویز دیده نمی شود. این حالت مشابه با وضعیتی است که صدای پخش شده از رادیو در داخل نویز گم شده و تنها اغتشاش شنیده می شود. برای جلوگیری از بروز این وضعیت می بایست مطمئن شد که سیگنال دریافت شده توان قابل توجهی در مقایسه با نویز دارد. عناصری از قبیل مقاومت ها و ترانزیستورها خود منشأ تولید نویز هستند. برخی از مهمترین انواع نویز تولید شده توسط این قطعات عبارت از موارد زیر هستند.

۱- نویز گرمایی: به دلیل ارتعاش اتم ها در اثر گرما ایجاد می شود. توان این نویز، مستقیماً با دما در ارتباط است.

۲- نویز سوسویی^۱: منشأ این نویز، به دام افتادن و آزاد شدن تصادفی حامل های بار هنگام عبور از برخی قطعات مانند ترانزیستور ماسفت می باشد. توان این نویز با عکس فرکانس f در ارتباط است و با افزایش فرکانس، به شدت کم می شود. لذا گاهی از این نویز با عنوان نویز $1/f$ نیز یاد می کنند.

۳- نویز ساچمه ای: منشأ نویز ساچمه ای طبیعت گسسته حامل های بار از جمله الکترون می باشد. این



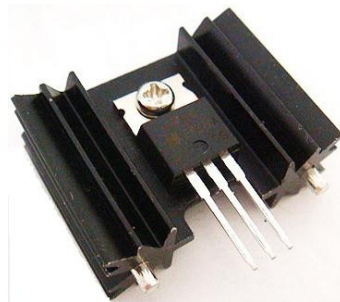
شکل ۱-۱۱ عملکرد یک تقویت کننده در حضور نویز.

^۱. Flicker noise

نویز، با جریان عبوری از یک پیوند pn در ارتباط است و نقش مهمی در نویز تولید شده توسط ترانزیستورهای دوقطبی دارد.

۱-۴-۲ تغییرات دمایی

تغییر و به خصوص افزایش دما، نقش قابل ملاحظه‌ای در اختلال مدارهای الکترونیکی دارد و باید از قبل هنگام طراحی لحاظ شود. اتلاف بیش از حد انرژی در قطعات نیمه‌هادی، دمای آنها را از حد مجاز فراتر برده و باعث آسیب رسانیدن به آنها می‌شود. به عنوان مثال، حداکثر دمای مجاز یک پیوند pn ساخته شده از ژرمانیوم در حدود 75°C و برای سیلیسیوم 200°C است. با افزایش بیشتر دما از این حدود مجاز، پیوند به تدریج خاصیت خود را از دست می‌دهد. روش‌های مختلفی به منظور پایین نگاه داشتن دمای قطعات الکترونیک موجود است. در ریزپردازنده‌های رایانه‌ای، از یک پنکه^۱ کوچک به منظور تسهیل انتقال هوای گرم به محیط اطراف استفاده می‌شود (شکل ۱-۱۲-الف). در برخی قطعات دیگر، تبادل آسان حرارتی با محیط از طریق نصب یک قطعه آلومینیومی به نام گرما خور^۲ بر روی قطعه انجام می‌شود. شکل ۱-۱۲-ب، نمایی از یک ترانزیستور قدرت را به همراه گرماخور نشان می‌دهد. گرماخور، تماس حرارتی قطعه با محیط اطراف را تسهیل نموده و مساحت بیشتری را جهت تبادل حرارتی ایجاد می‌کند.



(ب)



(الف)

شکل ۱-۱۲ تمهیدات لازم جهت انتقال حرارت از قطعه به محیط (الف) استفاده از پنکه و (ب) گرما خور.

^۱. Fan
^۲. Heat sink

۱-۴-۳ استهلاک به مرور زمان

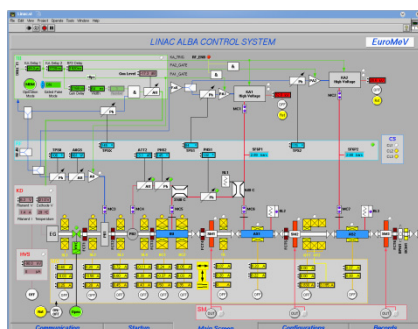
از عوامل کاهش بازده مدارها، استهلاک به مرور زمان است. با کاهش قابل توجه ابعاد قطعات و پیشرفت فناوری الکترونیک به حوزه نانو، هم‌اکنون این پدیده به یک مسئله اساسی در طراحی تبدیل شده است. استهلاک مدارها به مرور زمان، خود را به صورت افزایش توان مصرفی و کاهش سرعت و دقت نشان می‌دهد. در شرایط بحرانی این پدیده حتی باعث خرابی دستگاه می‌شود. یکی از منابع خطای ناشی از استهلاک زمانی، عبور مستمر الکترون‌های پرسرعت از درون قطعه است. این الکترون‌ها به طور تصادفی با اتم‌ها برخورد نموده و تغییراتی در مقیاس اتمی ایجاد می‌کنند. اکسیدشدگی، تشعشعات الکترومغناطیسی، گرما و ترکیب شیمیایی عناصر، از جمله عوامل ناخواسته دیگر هستند. به دلیل حساسیت بالاتر نسبت به مدارهای دیجیتال، مدارهای آنالوگ تأثیر بیشتری از این عوامل می‌پذیرند.

۱-۵ طراحی با استفاده از رایانه

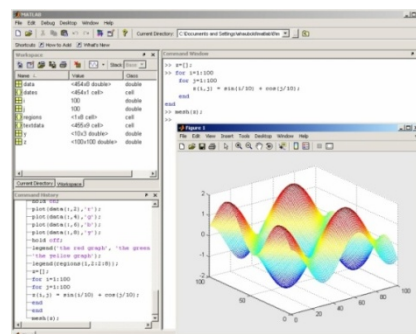
امروزه، قابلیت‌های ویژه‌ای برای مهندسان الکترونیک وجود دارد تا طراحی مدارهای الکترونیکی خود را با استفاده از تراشه‌های از پیش ساخته شده مجتمع انجام دهند. این مزیت، طراحی و ساخت مدارها به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای را آسان نموده است. نرم‌افزارهای رایانه‌ای، دارای مدل‌های از پیش تعریف شده‌ای هستند که به کمک آنها می‌توان شبیه‌سازی و طراحی مدارها را با دقت بالا و با خطای پایین انجام داد. نرم‌افزارهای کاربردی که مهندسان الکترونیک با آنها سروکار دارند، به شش دسته زیر تقسیم می‌شوند.

۱- طراحی و شبیه‌سازی در سطح سیستمی: قبل از پیاده‌سازی مداری، بسیاری از ایده‌ها به صورت سیستمی بررسی می‌شوند تا رفتار کلی آنها مورد بازبینی قرار گیرد. به کمک نرم‌افزارهای این دسته می‌توان طراحی، محاسبه و شبیه‌سازی کلی سیستم را بدون در نظر گرفتن جزئیات انجام داد. دو نرم‌افزار مهم با این قابلیت، MATLAB و LabVIEW هستند (شکل ۱-۱۳). نرم‌افزار MATLAB بیشتر برای انجام محاسبات ریاضی به فرم ماتریسی مناسب است در حالی که LabVIEW جنبه کاربردی داشته و شامل مدل‌های متعددی است که می‌توان آنها را در کنار هم قرار داد.

۲- شبیه‌سازی در سطح مداری: این نرم‌افزارها امکان شبیه‌سازی مدارهای آنالوگ و دیجیتال را



(ب)



(الف)

شکل ۱-۱۳ نمایی از صفحه اصلی و محیط شبیه‌سازی نرم‌افزارها؛ (الف) MATLAB و (ب) LabVIEW.

در سطح مداری و با استفاده از قطعاتی چون ترانزیستورها و دیودها فراهم می‌کنند. مدل دقیق قطعات یا از ابتدا در داخل نرم‌افزار تعبیه شده‌اند یا باید توسط کارخانه سازنده تعریف شوند. از این دسته می‌توان شبیه‌سازهای PSpice، HSpice و OrCAD را نام برد.

۳- طراحی، شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی تراشه‌های برنامه‌پذیر: تراشه‌های برنامه‌پذیر، دسته‌ای از تراشه‌های مجتمع شامل مدارهای آنالوگ و دیجیتال هستند که برای دستیابی به یک هدف مشخص، برنامه‌ریزی سخت‌افزاری می‌شوند. زبان توصیف سخت‌افزار این تراشه‌ها VHDL است که برنامه‌نویسی بر مبنای این زبان توسط نرم‌افزارهای متعددی پشتیبانی می‌شود. از جمله نرم‌افزارهای توصیف سخت‌افزار می‌توان به ModelSim، Active-HDL و Xilinx اشاره نمود.

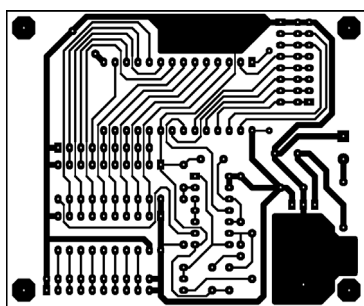
۴- شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی ریزپردازنده‌ها و ریزکنترل‌کننده‌ها: با استفاده از این نرم‌افزارها می‌توان مدارهای شامل ریزپردازنده و ریزکنترل‌کننده را شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی نمود. از این دسته می‌توان به Proteus، CodeVision و BASCOM اشاره نمود.

۵- طراحی بردهای الکترونیکی: بردهای مدار چاپی، ارتباط میان قطعات مختلف را در یک مدار الکترونیکی برقرار می‌کنند. این بردها بر روی یک صفحه مشترک مسی یا پلاستیکی، چاپ می‌شوند و قطعات الکترونیکی را بر روی آنها نصب می‌کنند (شکل ۱-۱۴ الف). چنین بردهایی را می‌توان با استفاده از برخی نرم‌افزارها مثل Protel DXP و CadSoft EAGLE طراحی کرد (شکل ۱-۱۴ ب).

۶- شبیه‌سازی و تهیه نقشه داخلی مدارهای مجتمع: یکی از شاخه‌های اصلی مهندسی

فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۲۹

الکترونیک، مجتمع سازی مدارها بر روی تراشه است. نرم افزارهایی که امکان شبیه سازی مدارهای مجتمع و پیاده سازی آنها بر روی تراشه را فراهم می کنند به دانش الکترونیک بیشتری نیاز دارند. یکی از نرم افزارهای مرتبط با این حوزه، Spectre Cadence است که کلیه مراحل طراحی، شبیه سازی و تهیه نقشه نهایی^۱ را باهم انجام می دهد (شکل ۱-۱۵). از نرم افزارهای مهم دیگر، HSpice برای شبیه سازی و L-Edit برای تهیه نقشه قبل از ساخت، می باشند.

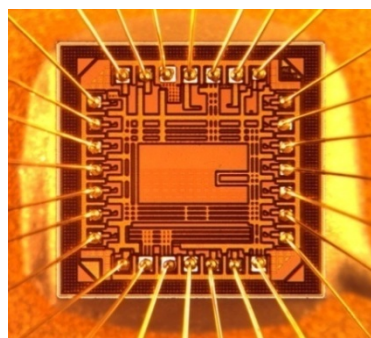


(ب)

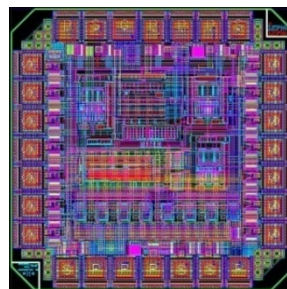


(الف)

شکل ۱-۱۴ (الف) نمونه ای از برد مدار چاپی و (ب) طراحی بردهای الکترونیکی با استفاده از رایانه.



(ب)



(الف)

شکل ۱-۱۵ (الف) نقشه داخلی یک مدار مجتمع تهیه شده با نرم افزار Cadence و (ب) تراشه ساخت شده.

^۱. Layout

۱-۶ گرایش الکترونیک در ایران و جهان

۱-۶-۱ معرفی شرکت‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی بزرگ

شرکت‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی فراوانی در زمینه تولید قطعات نیمه‌هادی و تراشه‌های الکترونیکی فعال هستند. مقرر اصلی اغلب این شرکت‌ها، کشور آمریکا (به‌خصوص منطقه دره سیلیکون^۱ در ایالت کالیفرنیا) می‌باشد. شکل ۱-۱۶ نام و لوگوی ده مؤسسه مهم و فعال در بازار نیمه‌هادی را نشان می‌دهد. در اینجا به معرفی این ده شرکت برتر می‌پردازیم.

۱- **اینتل**^۲: شرکت اینتل، بزرگ‌ترین و پردرآمدترین تولیدکننده تراشه‌های نیمه‌هادی (به‌خصوص ریزپردازنده‌ها، حافظه‌ها و پردازنده‌های گرافیک) در جهان است. این شرکت در سال ۱۹۶۸ میلادی افتتاح شد و نام آن از روی عبارت «الکترونیک مجتمع» یا Integrated Electronics = Intel اقتباس گردید. شرکت اینتل اولین سازنده ریزپردازنده در سال ۱۹۷۱ میلادی بوده است.

۲- **آی بی ام**^۳: تاریخ افتتاح شرکت بین‌المللی آی بی ام، به سال ۱۹۱۱ میلادی بازمی‌گردد. هم‌اکنون این شرکت یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ها و فروشندگان سخت‌افزارهای رایانه‌ای در جهان است. عنوان آی بی ام، برگرفته از عبارت لاتین International Business Machines = IBM است. این شرکت، دومین شرکت بزرگ آمریکایی از لحاظ تعداد کارمندان به شمار می‌آید.



شکل ۱-۱۶ نام و لوگوی ده شرکت معتبر نیمه‌هادی.

^۱. Silicon Valley

^۲. Intel Corporation

^۳. IBM Corporation

۳- **آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بل^۱:** آزمایشگاه‌های بل، وابسته به شرکت فرانسوی آلکاتل هستند و دارای شعب فراوانی در سراسر جهان می‌باشند. تاریخ تأسیس این آزمایشگاه‌ها، به اواخر قرن نوزدهم و هم‌زمان با تحقیقات الکساندر گراهام بل در زمینه تلفن بازمی‌گردد. محققان این آزمایشگاه‌ها به خاطر دستاوردهایشان در ساخت اولین ترانزیستورها، اولین لیزرها و اولین سیستم‌عامل‌های رایانه‌ای، در جهان شناخته شده هستند و تاکنون هشت جایزه نوبل دریافت نموده‌اند.

۴- **تگزاس اینسترومنتس^۲:** این شرکت آمریکایی، یکی از مدل‌های موفق در زمینه طراحی و ساخت قطعات نیمه‌هادی محسوب شده و هم‌اکنون از لحاظ سودآوری در فروش جهانی این محصولات، سوم می‌باشد. تگزاس اینسترومنتس در سال ۱۹۳۰ تأسیس شد و بزرگ‌ترین تولیدکننده تراشه‌های مجتمع آنالوگ و پردازنده‌های سیگنال دیجیتال است. از زیرمجموعه‌های مهم این شرکت، نیمه‌هادی ناسیونال^۳ است که یکی از تولیدکننده‌های اصلی تقویت‌کننده در جهان به شمار می‌رود.

۵- **نیمه‌هادی فرچایلد^۴:** این شرکت بین‌المللی در سال ۱۹۵۷ تأسیس شد و خیلی زود به یکی از شرکت‌های پیش‌رو در تولید ترانزیستور و مدارهای مجتمع مبدل گردید.

۶- **برادکام^۵:** در سال ۱۹۹۱ تأسیس شد و یکی از شرکت‌های بین‌المللی موفق در تولید تراشه‌های نیمه‌هادی برای ارتباطات راه دور با سرعت بالا می‌باشد.

۷- **میکروالکترونیک ST^۶:** مقر اصلی این شرکت فرانسوی-ایتالیایی، کشور سوئیس است. میکروالکترونیک ST در سال ۱۹۵۷ تأسیس شد و هم‌اکنون بزرگ‌ترین تولیدکننده تراشه‌های نیمه‌هادی در اروپا به شمار می‌رود.

۸- **نیمه‌هادی NXP^۷:** این شرکت یکی از زیرمجموعه‌های شرکت معروف هلندی فیلیپس^۸ است که در سال ۱۹۵۳ تأسیس شد. تولید تراشه‌های مخابراتی و منابع تغذیه، از جمله فعالیت‌های آن است.

۹- **آتمل^۹:** از بدو تأسیس در سال ۱۹۸۴، این شرکت آمریکایی یکی از تولیدکننده‌های اصلی ریزکنترل‌کننده می‌باشد. ریزکنترل‌کننده‌های AVR موجود در بازار، محصول این شرکت هستند.

^۱ Bell Labs

^۲ Texas Instruments or TI

^۳ National Semiconductor

^۴ Fairchild Semiconductor

^۵ Broadcom Corporation

^۶ ST-Microelectronics

^۷ NXP Semiconductors

^۸ Philips

^۹ Atmel Corporation

۱۰- **زایلینکس**^۱: تمرکز اصلی زایلینکس، بر روی تولید تراشه‌های برنامه پذیر است. این شرکت آمریکایی، در سال ۱۹۸۴ تأسیس شد.

در میان کشورهای در حال توسعه، ایران وضعیت خوبی از لحاظ تعداد شرکت‌های تولید کننده تجهیزات الکترونیک دارد. تأسیس صنایع الکترونیک ایران (صایران) در سال ۱۳۵۱، یکی از تجربیات موفق کشورمان در این حوزه محسوب می‌شود. این شرکت وابسته به وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح بوده و اکثر تولیدات آن از جمله رادار و ماهواره، مرتبط با فعالیت‌های نظامی می‌باشد. در سال‌های اخیر، صایران تولید ترانزیستور را در شیراز آغاز نمود اما به دلیل عدم صرفه اقتصادی، آن را متوقف کرد. این شرکت در مقطعی نیز به تولید تلفن همراه روی آورد اما آن را نیز به دلیل عدم امکان رقابت با محصولات بازار محدود نمود. عمده فعالیت‌های کنونی صایران، بر روی محصولات مخابراتی و فناوری‌های ماهواره‌ای متمرکز می‌باشد. شرکت‌های صنایع الکترونیک شیراز، صنایع مخابرات ایران، ایزایران، صنایع قطعات الکترونیک ایران، صنعت اپتیک اصفهان و پژوهشگاه الکترونیک ایران از زیرمجموعه‌های صایران هستند.

۱-۶-۲ معرفی انجمن‌ها و نشریه‌های معتبر

چندین انجمن و نشریه بین‌المللی در زمینه مهندسی برق فعالیت دارند و نوآوری‌های علمی را در قالب کتاب، نشریه و کتابچه همایش به چاپ می‌رسانند. معتبرترین مؤسسه بین‌المللی فعال در این حوزه، مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک^۲ یا آی‌تریپل‌ای (IEEE) است. این سازمان بین‌المللی در آمریکا مستقر است و از پیوستن انجمن مهندسان برق آمریکا با انجمن مهندسان رادیوی آمریکا، در سال ۱۹۶۳ شکل گرفت. آی-تریپل‌ای بیش از ۴۰۰ هزار عضو در بیش از ۱۶۰ کشور جهان دارد که هر یک در یکی از ۳۸ انجمن تخصصی آن فعال هستند. هدف آی‌تریپل‌ای، کمک به پیش برد فناوری در حوزه‌های مختلف مهندسی برق، مخابرات و رایانه می‌باشد. این مؤسسه به تنهایی در حدود سی درصد از کل مطالب منتشر شده در زمینه مهندسی برق را به چاپ می‌رساند و شمار نشریات معتبر آن به عدد صد می‌رسد. برخی از نشریه‌های معتبر این مؤسسه در زمینه مهندسی الکترونیک، موارد زیر هستند.

1. IEEE Journal of Solid-State Circuits
2. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers
3. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs
4. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems.

^۱. Xilinx

^۲. Institute of Electrical and Electronics Engineers

فصل ۱: گرایش الکترونیک / ۳۳

این نشریات به همراه صدها کتابچه همایشی که با پشتیبانی آی تریپل ای در کشورهای عضو به چاپ می‌رسند، از طریق وبسایت آی تریپل ای قابل دسترس هستند. علاوه بر این موارد، آی تریپل ای یکی از مؤسسات فعال در زمینه استانداردسازی محسوب می‌شود. انجمن استانداردسازی آی تریپل ای، طیف وسیعی از موضوعات را در شاخه‌های مختلف مهندسی برق استانداردسازی نموده و در قالب کتابچه‌های راهنما توزیع می‌کند. شاخه ایران آی تریپل ای در سال ۱۹۷۰ میلادی تأسیس شد و هم‌اکنون در اغلب دانشگاه‌های کشور فعال است. برگزاری کلاس‌های آموزشی، همایش‌ها و دعوت از پژوهشگران برتر از جمله فعالیت‌های آن می‌باشند.

علاوه بر آی تریپل ای، مؤسسات دیگری نیز در زمینه مهندسی برق فعال هستند و اقدام به برگزاری همایش و چاپ نشریه می‌کنند. از آن جمله می‌توان به مؤسسه اروپایی مهندسی و فناوری (IET) و مؤسسه‌های انتشاراتی الزویر (Elsevier)، اسپرینگر (Springer)، وایلی (John Wiley & Sons) و تیلور (Taylor & Francis) اشاره نمود.

۱-۶-۳ آینده پیش روی

فارغ التحصیلان مهندسی برق، گزینه‌های فراوانی برای کار و ادامه تحصیل فرا روی دارند. یکی از سودمندترین آنها، تأسیس شرکت دانش بنیان است. اگر ایده جدیدی برای ساخت محصول دارید می‌توانید با حمایت دولتی و نهادهایی چون پارک علم و فناوری، بنیاد ملی نخبگان و ستاد فناوری نانو، اقدام به تأسیس شرکت دانش بنیان کنید و ایده خود را تا مرحله تولید انبوه پیش ببرید. گزینه مهم دیگر، پژوهش در یک شرکت فعال در زمینه الکترونیک می‌باشد. این شرکت‌ها به وفور در شهرهای بزرگ یافت می‌شوند و زمینه‌های مختلفی از بازاریابی و تعریف پروژه‌های صنعتی گرفته تا تعمیر و نگهداری دستگاهها را پوشش می‌دهند. فارغ التحصیلان مهندسی برق و الکترونیک همچنین می‌توانند در صنایع مرتبط با هوافضا، نظامی، اتومبیل سازی، عمران، نفت و گاز و پتروشیمی، داروسازی و راه آهن نیز مشغول به کار شوند. یک گزینه مطلوب دیگر پیش روی همه فارغ التحصیلان این رشته، تحصیل در مقاطع بالاتر (کارشناسی ارشد و دکترا) است. خوشبختانه کلیه زیرشاخه‌های معرفی شده در بخش ۱-۳، در دانشگاه‌های کشور و تحت عناوین مختلف موجود هستند. زیر گرایش‌های مهندسی الکترونیک در خارج از کشور نیز اهمیت به سزایی دارند و متقاضیان پس از طی مراحل گزینش بر اساس معدل دروس و فعالیت‌های پژوهشی، می‌توانند در یکی از دانشگاه‌های مطرح خارجی ادامه تحصیل دهند.

مسائل فصل اول

- ۱-۱- مهندسی الکترونیک را تعریف کنید. مدارهای الکترونیکی از ترکیب چه قطعاتی ساخته می‌شوند؟
- ۲-۱- بلوک‌های اصلی سازنده کلیه قطعات نیمه‌هادی چگونه ساخته می‌شوند؟ اولین قطعه نیمه‌هادی تولیدشده چه بود و از پیوند چه موادی با یکدیگر شکل گرفت؟
- ۳-۱- قطعات الکترونیکی فعال و غیرفعال را تعریف کنید و از هر دسته سه مورد را نام ببرید.
- ۴-۱- کاربردهای اصلی دیود و ترانزیستور در مدارهای الکترونیکی، چه مواردی هستند؟
- ۵-۱- زیرشاخه‌های مختلف مهندسی الکترونیک را نام برده و هر یک را به اختصار توضیح دهید. دروس مرتبط با هر شاخه در مقطع کارشناسی چه مواردی هستند؟
- ۶-۱- مراحل ساخت ویفر سیلیسیم را نام برده و هر یک را به اختصار توضیح دهید.
- ۷-۱- پروسه ساخت مدار مجتمع روی ویفر خام، معمولاً چقدر طول می‌کشد؟ مراحل آن به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ توضیح دهید.
- ۸-۱- از روش‌های ساخت بلور یکپارچه از پلی سیلیکون، روش چوکراسکی را توضیح دهید.
- ۹-۱- تفاوت سیگنال‌های الکترونیک و دیجیتال، در چه خصلت‌هایی می‌باشد؟ توضیح دهید.
- ۱۰-۱- مشکلات پیش روی در طراحی مدارهای الکترونیکی را نام برده و هر یک را توضیح دهید.
- ۱۱-۱- از انواع منابع نویز تولیدشده توسط قطعات الکترونیکی، حداقل دو مورد نام ببرید و آنها را تعریف کنید.
- ۱۲-۱- از نقطه نظر کاربردی، نرم‌افزارهای مورد استفاده یک مهندس الکترونیک به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ آنها را نام برده و از هر دسته دو نرم‌افزار مهم معرفی کنید.
- ۱۳-۱- از روش‌های پایین آوردن دمای قطعات الکترونیکی، دو مورد را نام ببرید.
- ۱۴-۱- پنج مورد از زیرمجموعه‌های شرکت صایران را اسم ببرید.
- ۱۵-۱- پنج شرکت مطرح در صنعت نیمه‌هادی را نام ببرید. شرکت‌های اینتل، آی بی ام و براد کام در چه زمینه‌هایی فعال هستند؟

فصل ۲

گرایش قدرت

مهندسی قدرت^۱ تنها شاخه‌ای از رشته مهندسی برق است که به طور مستقیم با سه مبحث تولید انرژی الکتریکی در مقیاس گسترده، انتقال انرژی الکتریکی و تبدیل مؤثر آن به سایر انرژی‌ها سروکار دارد. با توجه به اهمیت تولید، انتقال و مصرف بهینه انرژی در جهان، این شاخه از مهندسی برق از اهمیت ویژه‌ای از لحاظ عملی برخوردار است. ویژگی بارز اغلب سامانه‌های الکتریکی مورد مطالعه در گرایش قدرت، کاربرد آنها به عنوان مبدل انرژی از صورتی به صورت دیگر است. در مجموع، یک سیستم قدرت شامل شبکه‌ای منظم از تولیدکننده‌ها و مصرف‌کننده‌های انرژی است که با هدف تأمین، انتقال و مصرف انرژی به یکدیگر وصل شده‌اند. در شاخه تولید، گرایش قدرت ساختار انواع نیروگاه‌ها و نحوه تولید برق در آنها را مطالعه می‌کند. شکل ۱-۲ نمای خارجی یک نیروگاه تولیدکننده برق به روش حرارتی را نشان می‌دهد. تولید انرژی الکتریکی در همه نیروگاه‌ها توسط سیستم‌های الکتریکی پر قدرتی انجام می‌شود که ژنراتور نام دارند. شکل ۲-۲ نمونه‌ای از این ژنراتورها را در یک نیروگاه برق حرارتی نمایش می‌دهد.

نیروگاه‌های حرارتی از ظرفیت بالایی برای تولید انرژی برخوردار هستند. این نیروگاه‌ها از سوخت مازوت یا گاز طبیعی به منظور گرم کردن آب و ایجاد بخار آب استفاده می‌کنند. از بخار آب سپس برای به حرکت درآوردن پره‌های مغناطیسی چرخش گر^۲ در ژنراتور استفاده می‌کنند. با توجه به دسترسی گسترده به

^۱. Power Engineering

^۲. Rotor



شکل ۱-۲ تصویری از یک نیروگاه حرارتی.



شکل ۲-۲ نمونه‌ی ژنراتور مورد استفاده در نیروگاه حرارتی.

منابع گاز طبیعی، چنین سازوکاری از محبوبیت بالایی در کشورمان برای تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی برخوردار است. در بخش انتقال، هدف مهندسان برق و قدرت طراحی شبکه‌های انتقال انرژی با کمترین

فصل ۲: گرایش قدرت / ۳۷

هزینه و اتلاف است. طبق معادله (۱-۲)، توان تلف شده P در یک هادی الکتریکی با مقاومت R ، به طور مستقیم با جریان مؤثر عبوری از آن (I) در ارتباط است.

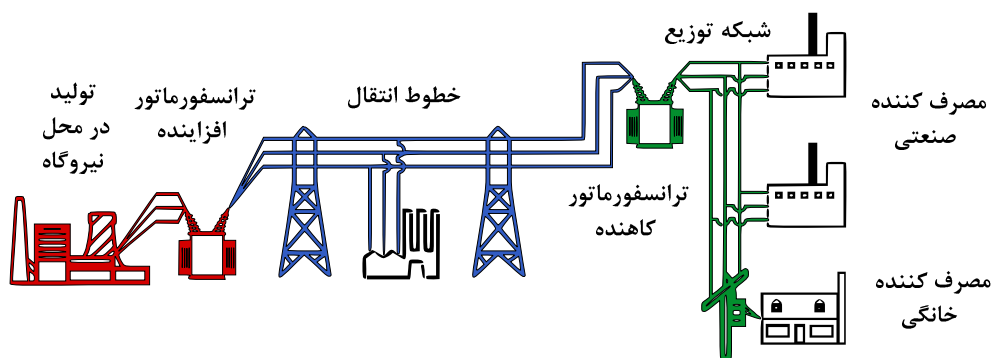
$$P = RI^2 \quad (۱-۲)$$

توان الکتریکی به صورت حاصل ضرب ولتاژ در جریان تعریف می شود ($P = V \times I$). بنابراین اگر بخواهیم توان مشخصی را با کمترین اتلاف از یک سیم عبور دهیم باید V را تا حد امکان افزایش و I را تا حد ممکن کاهش دهیم. بر مبنای همین استدلال است که در پایانه نیروگاه، دامنه ولتاژ تولید شده را توسط ترانسفورماتورهای افزایش دهنده زیاد می کنند تا تلفات عبور به حداقل برسد. شکل ۲-۳، شمایی از خطوط انتقال نیرو با قدرت ۵۰۰ kV را نشان می دهد. شبکه توزیع انرژی الکتریکی منتقل شده از سمت نیروگاه را در میان مصرف کنندگان پخش نموده و به طور همزمان مصرف هر یک را اندازه گیری می کند. دامنه ولتاژ، باید در مرحله توزیع توسط ترانسفورماتورهای کاهنده، کاهش یابد.

شکل ۲-۴ نمایی از شبکه تولید، انتقال و توزیع برق را به تصویر می کشد. انتقال انرژی در فواصل دور توسط شبکه انتقال و پخش آن در محل مصرف، توسط شبکه توزیع انجام می شود.



شکل ۲-۳ تصویری از یک خط انتقال با ولتاژ ۵۰۰ kV .



شکل ۲-۴ شبکه تولید، انتقال و توزیع برق.

۱-۲ پیشینه تاریخی

جورج اهم در سال ۱۸۲۷ میلادی موفق شد نشان دهد که نسبت اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر یک هادی فلزی به جریان عبوری از آن، عددی نسبتاً ثابت است. وی بعدها این عدد را مقاومت الکتریکی با واحد اهم نامید. در سال ۱۸۳۱، مایکل فارادی مفاهیم اولیه میدان‌های الکترومغناطیس را بر مبنای قانون القای فارادی بنیان نهاد. دستاوردهای مهم وی در زمینه نحوه کار دستگاه‌های گردان مغناطیسی، اساس کار موتورهای الکتریکی امروزی را تشکیل می‌دهند. موتورهای الکتریکی قادر هستند که انرژی الکتریکی را به طور مستقیم به دوران مکانیکی تبدیل کنند. تولید انرژی الکتریکی توسط ژنراتورها، در سال ۱۸۶۶ و توسط ورنر فون زیمنس پیشنهاد شد.

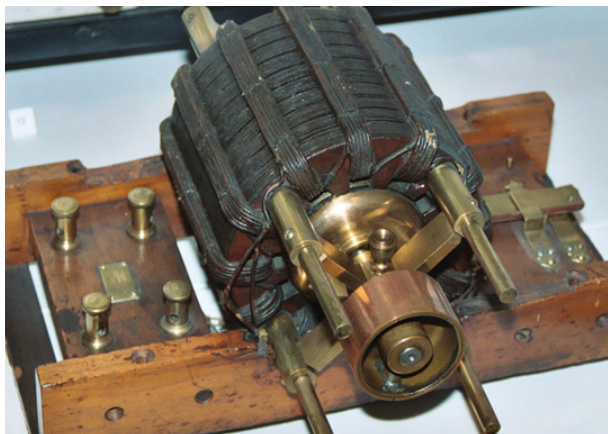
در حال حاضر ژنراتورها قادر هستند که انرژی الکتریکی را از هر صورت انرژی دیگری تولید کنند. در سال ۱۸۷۸ میلادی، توماس آلوا ادیسون موفق شد که با تصحیح ساختار چراغ‌های اولیه، جایگزین تجاری مطمئنی برای ایجاد نور ایجاد کند. ادیسون همچنین ساخت اولین نیروگاه برق را در سپتامبر سال ۱۸۸۲ و در شهر نیویورک به پایان رسانید. ولتاژ و جریان الکتریکی تولیدشده از ژنراتور این نیروگاه، از نوع جریان مستقیم (dc) یا ثابت بودند. نیکولاس تسلا، یکی از کارمندان نخبه ادیسون در ساخت این نیروگاه، بعدها ایده تولید ولتاژ و جریان الکتریکی متناوب یا به اصطلاح ac را به عنوان جایگزینی برای سیستم جریان مستقیم ادیسون مطرح نمود. از زمان پیدایش سامانه‌های تولید انرژی الکتریکی به روش‌های مستقیم و متناوب، نحوه تولید انرژی الکتریکی دستخوش تغییرات زیادی شده و شرکت‌های فراوانی دست

فصل ۲: گرایش قدرت / ۳۹

به تولید سامانه‌های قدرت مستقیم و متناوب زده‌اند. نخستین موتور الکتریکی از نوع القایی در سال ۱۸۹۱ میلادی و توسط تسلا معرفی شد. شکل ۲-۵، نمای بیرونی این موتور القایی را نشان می‌دهد که هم‌اکنون به‌عنوان یکی از اختراعات برتر قرن بیستم، در موزه لندن نگهداری می‌شود. در همین سال، شرکت وستینگهاوس نخستین سامانه الکتریکی را که علاوه بر تولید نور، موتور الکتریکی را نیز راه‌اندازی می‌کرد معرفی نمود. امروزه ژنراتورهای ac تسلا، کماکان برترین گزینه به‌منظور تولید بهینه انرژی الکتریکی و مصرف آن به‌شمار می‌روند.

اولین مولد برق در ایران، در سال ۱۸۸۵ میلادی (۱۲۶۴ هجری شمسی) مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در سال ۱۳۴۳، قانون تأسیس وزارت آب و برق به دولت ابلاغ شد و از سال ۱۳۴۸ به بعد، شرکت تولید و انتقال نیروی برق ایران یا توانیر آغاز به کار کرد.

از سال ۱۳۷۵، شرکت توانیر با نام جدید «سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران» وظایف معاونت امور برق وزارت نیرو را نیز برعهده گرفت. از آنجاکه از همان سال‌های ابتدایی، نهادها و سازمان‌های متعددی مجری تولید انرژی در کشور بودند، در سال ۱۳۵۳ نام وزارت آب و برق به وزارت نیرو تغییر پیدا کرد و با تغییر برنامه‌ها، وظیفه هماهنگی بین تولیدکننده‌ها نیز به این وزارتخانه واگذار شد.



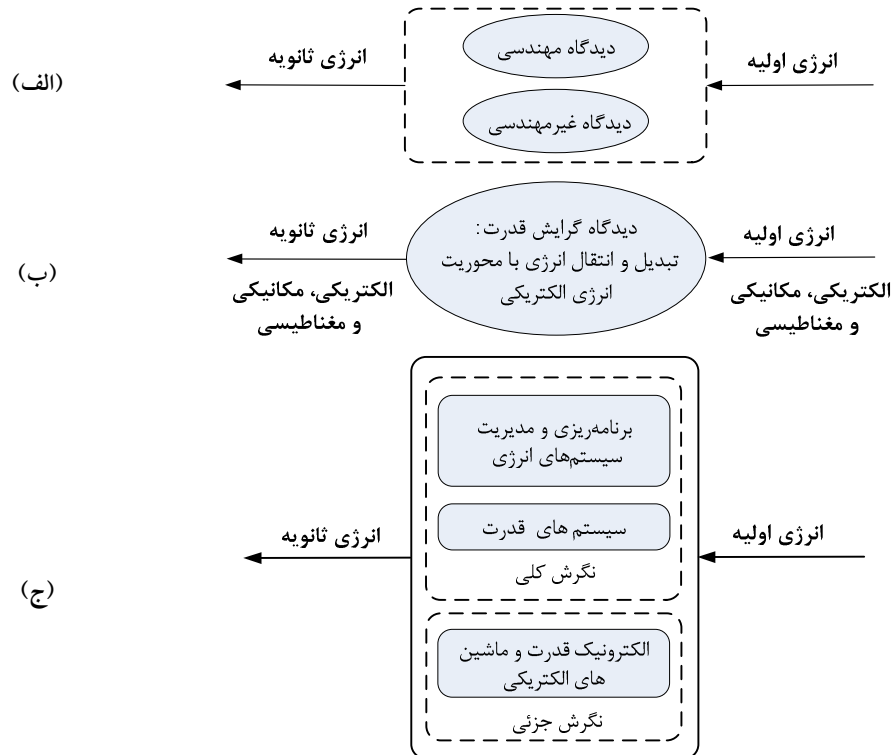
شکل ۲-۵ تصویری از موتور القایی تسلا در موزه لندن.

در دو دهه اخیر، صنعت برق به عنوان یک صنعت زیربنایی دستخوش تغییرات شگرفی گردیده است. در حال حاضر، در اکثر کشورهای دنیا بازاری تحت عنوان بازار برق ایجاد شده است. برخلاف ساختار قدیمی که در آن مالکیت سامانه‌های تولید، انتقال و توزیع همگی دولتی هستند، در بازار جدید، بخش تولید و توزیع به صورت خصوصی اداره می‌شوند؛ ولی به دلیل حساسیت بالا، زیرمجموعه انتقال همچنان دولتی است. بازار برق کشور ما از ابتدای آبان ماه سال ۱۳۸۲ راه اندازی شد. در حال حاضر، صنعت برق نه تنها باید منابع لازم برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز در سایر صنایع را فراهم کند، بلکه باید اثرات نامطلوبی را که تولید انرژی الکتریکی به طبیعت می‌رساند را نیز به حداقل برساند. شبکه‌های برق هوشمند، راهی برای حل این چالش هستند که یکی از وظایف آنها، افزایش هوشمندانه قیمت برق در ساعات اوج مصرف می‌باشد.

۲-۲ کلیات گرایش قدرت

تبدیل انرژی از یک صورت به صورت دیگر، نقشی حیاتی در زندگی روزمره انسان‌ها دارد. تبدیل انرژی را می‌توان از دو دیدگاه مهندسی و غیرمهندسی مورد بررسی قرار داد (شکل ۲-۶-الف). از دید غیر مهندسی، مسئله تبدیل انرژی بیشتر از نقطه نظرهای صرفه اقتصادی و تأثیر این تبدیل بر محیط زیست بحث می‌شود. اما دید مهندسی به مسئله تبدیل انرژی، بر مبنای بررسی راهکارهای تبدیل صورت‌های مختلف انرژی (مکانیکی، شیمیایی، الکتریکی و غیره) به یکدیگر می‌باشد. از میان انواع انرژی‌ها، انرژی الکتریکی به علت سهولت انتقال، کنترل، ذخیره سازی و تبدیل آسان به سایر انرژی‌ها، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. گرایش قدرت، مسئله تبدیل انرژی را با محوریت انرژی الکتریکی بحث می‌کند (شکل ۲-۶-ب). در حالت کلی، نگرش به سامانه‌های تبدیل انرژی را می‌توان از دو دیدگاه کلی و جزئی انجام داد و ساختار کلی سیستم‌های قدرت و اجزای سازنده آنها شامل موتورها، ژنراتورها، خطوط انتقال و افزاره‌های الکترونیک قدرت^۱ را از یکدیگر تفکیک نمود. از دیدگاه کلی، مهندسی قدرت به دو زیرشاخه سیستم‌های قدرت و برنامه ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی و از دیدگاه جزئی به یک زیرشاخه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی تقسیم بندی می‌شود (شکل ۲-۶-ج). زیرشاخه سیستم‌های

^۱. Power Electronics



شکل ۲-۶ (الف) مسئله تبدیل انرژی از دو دیدگاه مهندسی و غیرمهندسی، (ب) تبدیل انرژی از یک فرم به فرم دیگر از دید گرایش قدرت و (ج) تقسیم‌بندی گرایش قدرت از دو دیدگاه کلی و جزئی.

قدرت، مباحث تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را از دید کلی مدنظر قرار می‌دهد و سامانه‌های مبدل انرژی الکتریکی و قوانین حاکم بر آنها را مطالعه می‌کند. اما بررسی شرایط نوین حاکم بر سیستم‌های قدرت، اصلاح مقررات، جزئیات بازار برق و امکان استفاده از انرژی‌های نو از اهداف زیرشاخه برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی هستند. زیرشاخه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی، جزئیات پردازش ولتاژ و جریان‌های موجود در شبکه‌های قدرت را با استفاده از افزاره‌های الکترونیک قدرت (دیودها، ترانزیستورها و غیره) مطالعه می‌کند. این زیرشاخه همچنین سازوکار تبدیل انرژی از مکانیکی به الکتریکی و برعکس را با استفاده از ماشین‌های الکتریکی مورد بررسی قرار می‌دهد.

هدف اصلی در برنامه درسی دوره کارشناسی مهندسی برق، تربیت متخصصانی است که علاوه بر داشتن تخصص علمی و فنی لازم، بتوانند طراحی، توسعه، بهره‌برداری و نظارت بر دستگاه‌های الکتریکی را با دقت بالا انجام دهند. بر این مبنا، برنامه درسی کاملی مرکب از دروس نظری، آزمایشگاهی و کارگاهی در نظر گرفته شده است. این برنامه شامل ۱۴۰ واحد درسی مرکب از ۲۲ واحد عمومی، ۲۶ واحد پایه، ۵۱ واحد اصلی، ۲۹ واحد تخصصی (۲۳ واحد تخصصی الزامی و ۶ واحد تخصصی انتخابی) و ۱۲ واحد اختیاری است. دروس عمومی، پایه، اصلی و اختیاری بین کلیه گرایش‌های مهندسی برق مشترک هستند و از میان واحدهای تخصصی، پروژه و کارآموزی مشترک می‌باشند. بنابراین تفاوت گرایش‌های مختلف با یکدیگر، تنها در واحدهای تخصصی باقیمانده است. دروس تخصصی الزامی گرایش قدرت، ماشین‌های الکتریکی ۳، الکترونیک صنعتی، تأسیسات الکتریکی، تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۲، حفاظت و رله و سه واحد آزمایشگاه تک‌واحدی هستند. همچنین از میان دروس تخصصی انتخابی، عایق‌ها و فشارقوی، ماشین‌های الکتریکی مخصوص، تولید انرژی الکتریکی، طرح خطوط هوایی انتقال، طرح پست‌های فشارقوی و مبانی تحقیق در عملیات، انتخاب دو درس برای دانشجویان الزامی است. جدول ۱-۲ محتوای آموزشی برخی دروس اصلی و تخصصی گرایش قدرت را جهت آشنایی هر چه بیشتر با این رشته نشان می‌دهد.

۳-۲ معرفی زیرشاخه‌ها

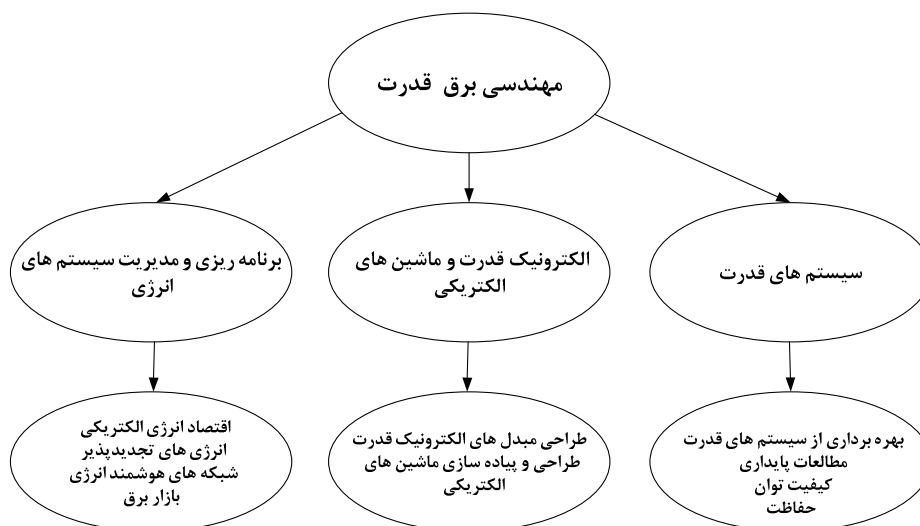
همان‌طور که اشاره کردیم، گرایش قدرت خود به سه زیرشاخه اصلی ۱- سیستم‌های قدرت، ۲- الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی و ۳- برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی تقسیم‌بندی می‌شود. در این قسمت سعی داریم به بررسی هر یک از این زیرشاخه‌ها به همراه جزئیات آنها بپردازیم. نمودار شکل ۷-۲، نام و مهم‌ترین مطالب ارائه‌شده در هر زیرشاخه را نمایش می‌دهد.

۱-۳-۲ سیستم‌های قدرت

زیرشاخه سیستم‌های قدرت، به نحوه بهره‌برداری از سامانه‌های قدرت، پایداری آنها، کیفیت انرژی و حفاظت از سیستم‌های قدرت اختصاص یافته است. مباحث این شاخه پیرامون تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی از منظر کلی متمرکز است. از جمله دروس تخصصی این زیرشاخه در مقطع کارشناسی، می‌توان به تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی، عایق‌ها و فشارقوی، رله و حفاظت و در نهایت تولید و نیروگاه

جدول ۱-۲ نام و محتوای آموزشی دروس مرتبط با مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان	تعداد واحد	هدف
ماشین‌های الکتریکی ۱	۲ واحد اصلی	آشنایی با ساختار موتورهای و ژنراتورهای الکتریکی از نوع dc
ماشین‌های الکتریکی ۲	۲ واحد اصلی	معرفی اصول و کارکرد ترانسفورماتورها، موتورهای القایی و موتورهای ac
تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱	۳ واحد اصلی	مطالعه مبانی تولید، انتقال، توزیع و کنترل انرژی الکتریکی
تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۲	۳ واحد تخصصی الزامی	آشنایی با مدل‌های مهم شبکه‌های انرژی و روش‌های تحلیل خطا و پایداری آنها
الکترونیک صنعتی	۳ واحد تخصصی الزامی	آشنایی با انواع کلیدهای نیمه‌هادی سازگار با سیستم‌های انتقال، یکسوسازها، تغییردهنده‌های سطح و نوع ولتاژ
ماشین‌های الکتریکی ۳	۳ واحد تخصصی الزامی	بررسی ساختار و کارکرد ترانسفورماتورهای سه فاز و مدل‌سازی و تحلیل حالت-های پایدار و گذرا در آنها، تحریک و موازی‌سازی ژنراتورها
تأسیسات الکتریکی	۳ واحد تخصصی الزامی	آشنایی با محاسبات روشنایی داخلی و خارجی ساختمان‌ها، طراحی تابلو برق، ایمنی و حفاظت در تأسیسات و آشنایی با نرم‌افزارهای مرتبط
تولید انرژی الکتریکی	۳ واحد تخصصی اختیاری	آشنایی با انواع نیروگاه‌ها و نحوه کارکرد هر یک از آنها
عایق‌ها و فشارقوی	۳ واحد تخصصی اختیاری	بررسی فناوری عایق‌های الکتریکی، انواع ولتاژها و جریان‌های مورد استفاده در آزمون‌های فشارقوی و روش‌های تولید هر یک
ماشین‌های الکتریکی مخصوص	۳ واحد تخصصی اختیاری	آشنایی با ساختار و عملکرد ماشین‌های الکتریکی مخصوص، موتورهای القایی، موتورهای پله‌ای و خطی و سرو موتورها



شکل ۲-۷ گستره مطالب در سه زیرشاخه اصلی مهندسی برق و قدرت.

اشاره نمود. در مقاطع تحصیلات تکمیلی، بهره‌برداری از سامانه‌های قدرت، پویایی این سامانه‌ها، توزیع انرژی الکتریکی، حفاظت پیشرفته، کیفیت توان و بررسی حالات گذرا در سیستم‌های قدرت از جمله دروس مهم هستند.

قبل از هر چیز، سیستم‌های قدرت به کمک روش‌های ریاضی و تئوری‌های علمی تحلیل می‌شوند. پس از آن به تفکیک، در مقوله تولید ساختار انواع نیروگاه‌های حرارتی، آبی، گازی، ترکیبی، اتمی، خورشیدی و بادی و در مقوله انتقال و توزیع، جزئیات انتقال انرژی الکتریکی از طریق کابل‌های هوایی و زیرزمینی، اصول مهندسی فشارقوی و مدیریت بهینه شبکه‌های توزیع بحث می‌شوند. بهینه‌سازی شبکه توزیع، از دیگر مباحث بااهمیت در مقوله انتقال و توزیع است که هدف آن، جلوگیری از اتلاف بی‌هوده انرژی می‌باشد.

در بخش تولید، انرژی الکتریکی در قلب نیروگاه و توسط ژنراتور تولید می‌شود. شکل ۲-۸، تصویری از یک نیروگاه گازی-حرارتی را به تصویر می‌کشد. انرژی تولید شده در مسیر انتقال به مصرف‌کننده، از چندین پست فرعی عبور می‌کند تا سطح ولتاژ آن با استفاده از ترانسفورماتور کاهش یا افزایش یابد. شکل ۲-۹ نمونه‌ای از پست‌های برق مورد استفاده در شبکه‌های انتقال و توزیع را نمایش می‌دهد. تغییر سطح ولتاژ در پست‌های فرعی با هدف رساندن انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده با کمترین هزینه و تلفات و با بیشترین ضریب ایمنی انجام می‌شود. پست‌هایی که از ترانسفورماتورهای افزایش‌دهنده بهره می‌برند، در



شکل ۲-۸ نیروگاه سیکل ترکیبی منتظر قائم کرج.



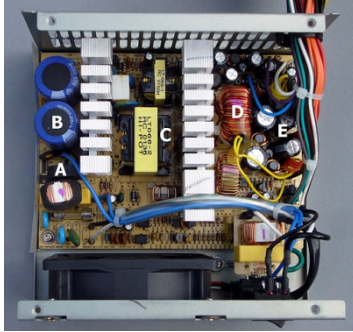
شکل ۲-۹ پست برق مورد استفاده در شبکه های انتقال و توزیع.

توان مشخص سطح ولتاژ را افزایش و سطح جریان را کاهش می دهند تا تلفات به حداقل برسد. پست های شامل ترانسفورماتورهای کاهنده، سطح ولتاژ را به منظور افزایش ضریب ایمنی کاهش داده و دامنه جریان را زیاد می کنند.

۲-۳-۲ الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی

طراحی مبدل های نیمه هادی قدرت و چگونگی طراحی ژنراتورها و موتورهای الکتریکی از مباحث مهم زیرشاخه الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی هستند. در زمینه الکترونیک قدرت، آن دسته از مبدل ها و مدارهای الکترونیکی بررسی می شوند که دارای قابلیت انتقال توان بالا بوده و بسته به کاربرد قادرند دامنه و نوع ولتاژ را از حالت مستقیم به متناوب و برعکس تبدیل کنند. برخی از این مبدل ها، دامنه و فرکانس شکل موج های ac را نیز تغییر می دهند. در واقع الکترونیک قدرت، حلقه رابط میان دو گرایش الکترونیک و قدرت محسوب می شود و نحوه بهره برداری از نیمه هادی ها در سیستم های قدرت را مدنظر قرار می دهد. تجهیزات الکترونیک قدرت باید سازگار با ولتاژها و جریان های بالا باشند. به عنوان دو کاربرد این تجهیزات، شکل ۲-۱۰ نمای خارجی یک مبدل ولتاژ dc به ac و یک منبع تغذیه سوییچینگ را به تصویر می کشد.

مبحث ماشین های الکتریکی با نحوه تبدیل مؤثر انرژی الکتریکی به مکانیکی و برعکس و نیز تبدیل



(ب)

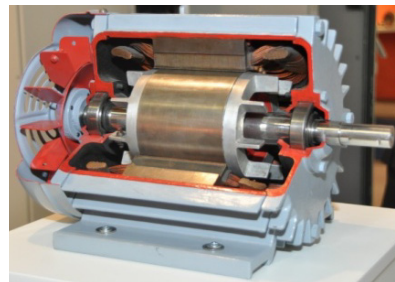


(الف)

شکل ۱۰-۲ (الف) یک نمونه مبدل dc به ac صنعتی و (ب) یک منبع تغذیه سوییچینگ شامل یکسوسازها، سیم‌پیچ‌ها، خازن‌ها و دستگاه‌های خنک‌کننده.

انرژی‌های الکتریکی و مغناطیسی به یکدیگر سروکار دارد. درواقع، اساس کار ژنراتورها بر تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و اساس کار موتورها، بر تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی استوار است. ترانسفورماتورها، انرژی الکتریکی را به مغناطیسی و برعکس تبدیل می‌کنند و سطوح ولتاژ و جریان را از این طریق تغییر می‌دهند. لذا زمینه ماشین‌های الکتریکی، بیشتر با تحلیل و طراحی ژنراتورها، موتورها و ترانسفورماتورها سروکار دارد. شکل ۱۱-۲ دو نمونه موتور الکتریکی موجود در صنعت را نمایش می‌دهد. شکل ۱۲-۲، دو ترانسفورماتور مورد استفاده در شبکه‌های انتقال را به تصویر می‌کشد.

ازجمله دروس تخصصی شاخه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی در مقطع کارشناسی می‌توان به الکترونیک صنعتی و ماشین‌های الکتریکی اشاره نمود. در مقطع کارشناسی ارشد، دروس مهمی همچون



شکل ۱۱-۲ نمونه‌های از موتورهای الکتریکی مورد استفاده در صنعت.



شکل ۲-۱۲ دو نمونه از ترانسفورماتورهای موجود در شبکه‌های انتقال.

الکترونیک قدرت، طراحی مبدل‌های الکترونیک قدرت، روش‌های نوین کنترل مبدل‌های الکترونیک، تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی و طراحی ماشین‌های الکتریکی مرتبط با این زیرشاخه هستند.

۲-۳-۳ برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی الکتریکی

اجرائی کردن شرایط نوین در سیستم‌های قدرت با اصلاح ساختار و تجدیدنظر در مقررات، ایجاد بازار برق و راهکارهای هوشمند استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، از اهداف زیرشاخه برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی الکتریکی محسوب می‌شوند. دروس تخصصی این زیرشاخه برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی، قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت، انرژی‌های تجدیدپذیر، شبکه‌های هوشمند، اقتصاد انرژی الکتریکی، تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت و مدیریت انرژی و بازار برق هستند که همگی، در مقاطع ارشد و دکتری ارائه می‌شوند. می‌توان در برخی دانشگاه‌ها این دروس را در مقطع کارشناسی و به صورت اختیاری نیز اخذ نمود.

۲-۴ مسائل روز در مهندسی برق و قدرت

با توجه به چالش‌های پیش آمده در صنعت برای تولید و مصرف بهینه انرژی الکتریکی، اهمیت پژوهش در مهندسی قدرت بر کسی پوشیده نیست. از جمله این چالش‌ها، بهینه‌سازی مصرف انرژی، تبدیل بهینه انرژی‌ها به یکدیگر و ضرورت تولید تجهیزات پیشرفته هستند. هم‌اکنون، محدودیت‌های فناوری در تولید قطعات نیمه‌هادی، مواد مغناطیسی و آلیاژهای فلزی، تولید کلیدهای قدرت و نیز

کابل‌های کم مصرف را با مشکل مواجه نموده است. خوشبختانه با تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه تولید مواد مغناطیسی، ابرساناها و نیمه‌هادی‌ها انجام می‌شود، هرروز شاهد معرفی مبدل‌ها و افزاره‌های کارآمدتری برای سیستم‌های قدرت هستیم. اخیراً با گسترش فناوری اطلاعات و فناوری ارتباطات از راه دور، پیشرفت‌های زیادی در زمینه ارتباطات درون‌شبکه‌ای سیستم‌های قدرت انجام گرفته و محدودیت‌های ارتباطی را رفع نموده‌اند. برای نمونه رایانه‌هایی که هم‌اینک برای بررسی وضعیت شبکه‌های توزیع و انتقال استفاده می‌شوند، از قابلیت‌های دریافت به‌روز اطلاعات از بخش‌های مختلف، پردازش آنها و کنترل خودکار سیستم برخوردار می‌باشند. در ادامه به معرفی شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی با استفاده از فناوری‌های نوین می‌پردازیم و پس از آن امکان استفاده از انرژی‌های پاک و تجدید پذیر در تولید برق را مرور می‌کنیم.

۲-۴-۱ شبکه‌های هوشمند توزیع برق

فناوری‌های پیشرفته انجام تغییرات اساسی در تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی را ممکن نموده‌اند تا علاوه بر برآورده شدن نیاز مشتریان، امکان دسترسی به برقی پایدار و مطمئن نیز فراهم شود. شبکه‌های هوشمند توزیع برق قادرند اطلاعات مهمی از سرتاسر سیستم قدرت جمع‌آوری کنند تا با استفاده از آنها، در موقع لازم تصمیم‌گیری کنند و از بروز ناپایداری و آسیب رسیدن به تجهیزات جلوگیری نمایند. این شبکه‌ها یکی از جدیدترین فناوری‌ها در مدیریت هوشمندانه انرژی محسوب می‌شوند. اصلی‌ترین هدف در پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند، تأمین انرژی و پاسخگویی به نیاز رو به رشد مشتریان با کمترین هزینه زیست‌محیطی است. در اینجا به برخی مزایای استفاده از آنها اشاره می‌کنیم.

۱- کاهش مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف که با نصب تجهیزات هوشمند الکترونیکی در پست‌های توزیع و منازل ممکن می‌شود.

۲- کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کاهش اتلاف انرژی با تولید و مصرف هوشمندانه؛

۳- کاهش هزینه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های توزیع و انتقال با مدیریت هوشمندانه انرژی؛

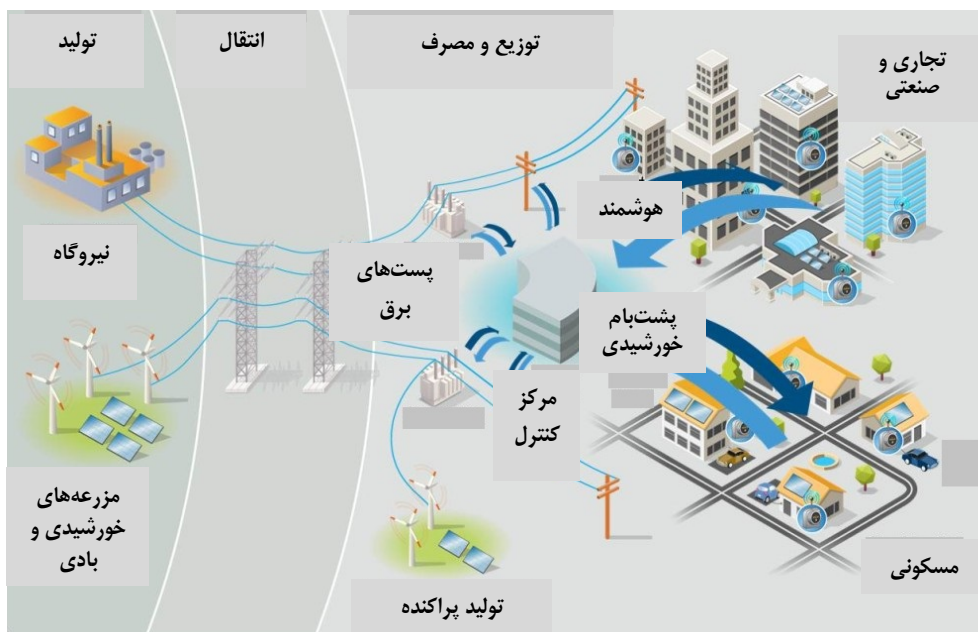
۴- کاهش قطع ناخواسته برق در مناطق مختلف جغرافیایی.

شبکه‌های هوشمند، قیمت برق را به‌صورت پویا تغییر می‌دهند تا هزینه استفاده از انرژی در ساعات اوج مصرف افزایش یابد. با این کار، مصرف‌کننده مجبور می‌شود که میزان برق مصرفی خود را به شکل

بهینه مدیریت کند. شکل ۲-۱۳ نمونه کاملی از یک شبکه هوشمند را با قابلیت‌های اشاره شده در بالا به تصویر می‌کشد. در قسمت تولید، از منابع طبیعی انرژی مانند باد و خورشید در کنار یک نیروگاه هوشمند استفاده شده است. مرکز کنترل وظیفه انتخاب نوع انرژی را با توجه به میزان مصرف و دسترسی به انرژی‌های طبیعی بر عهده دارد. در پشت‌بام منازل، از سلول‌های خورشیدی استفاده شده است تا با حداقل نمودن میزان انتقال انرژی از طریق خطوط انتقال، تلفات نیز حداقل شود. مرکز کنترل وظیفه مدیریت مصرف انرژی، تغییر پویای قیمت برق و بررسی وضعیت پایداری شبکه را نیز بر عهده دارد.

۲-۴-۲ تولید برق با استفاده از منابع انرژی پاک و تجدید پذیر

رشد چشمگیر مصرف انرژی، علاوه بر خطر اتمام زود هنگام منابع فسیلی، زمین را با تغییرات جدی و برگشت‌ناپذیر زیست‌محیطی مواجه نموده است. از این‌رو، در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه پایدار کشورها نقش زیادی برای منابع تجدید پذیر انرژی در نظر گرفته شده است. منابع تجدید پذیر، به



شکل ۲-۱۳ پیاده‌سازی یک شبکه قدرت هوشمند.

۵۰ / آشنایی با مهندسی برق

انرژی‌های پاک و تجدید پذیری اطلاق می‌شود که استفاده از آنها آسیبی به طبیعت نمی‌رساند. سلول خورشیدی، تبدیلی از جنس نیمه‌هادی می‌باشد که قادر است نور خورشید را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل کند. شکل ۲-۱۴ استفاده از سلول‌های خورشیدی را به‌منظور تولید انرژی الکتریکی در یک مزرعه خورشیدی نمایش می‌دهد. نیروگاه‌های بادی شامل چندین ژنراتور در کنار هم هستند که انرژی دورانی ناشی از وزش باد را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. در مناطق بادخیز کشورمان، پتانسیل خوبی برای ساخت چنین نیروگاه‌هایی وجود دارد. شکل ۲-۱۵ نمونه‌ای از این نیروگاه‌ها را به تصویر می‌کشد. در اینجا به چهار دلیل ضرورت جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع تجدید پذیر اشاره می‌کنیم.



شکل ۲-۱۴ استفاده از انرژی خورشید به‌منظور تولید برق.



شکل ۲-۱۵ تولید برق با استفاده از انرژی باد در یک نیروگاه بادی.

الف) پایان پذیر بودن سوخت های فسیلی: سوخت های فسیلی، درصد عمده ای از منابع تأمین انرژی در جهان را به خود اختصاص داده اند و در آینده ای نه چندان دور به اتمام خواهند رسید.

ب) پاک بودن انرژی های تجدید پذیر: منابع تجدید پذیر، پاک و رایگان بوده و تبدیل آنها به انرژی الکتریکی، آلودگی زیست محیطی ندارد.

ج) افزایش نرخ رشد اقتصادی و نیاز روزافزون به انرژی های تجدید پذیر: مقوله انرژی، نقش کلیدی در رشد و توسعه اقتصادی و رفاه و بهبود سطح کیفی افراد جامعه دارد. رشد سریع اقتصاد جهانی، افزایش تقاضا برای انرژی را به همراه داشته است. از طرف دیگر، ذخایر سوخت فسیلی محدود بوده و در آینده ای نزدیک، نیاز به جایگزین دارند. انرژی های تجدید پذیر، مهم ترین جایگزین این منابع برای تولید برق هستند. لذا تمامی کشورها تلاش می کنند تا منابع تجدید پذیر را وارد سبد انرژی خود کنند و از منابع فسیلی استفاده بهینه نمایند.

د) پراکنده بودن انرژی های تجدید پذیر در همه مناطق: در مقایسه با منابع فسیلی که تنها در مناطق محدودی قابل استحصال هستند، انرژی های تجدید پذیر در همه جا به وفور یافت می شوند. این مزیت، کمک چشمگیری به دسترسی همگانی به انرژی الکتریکی نموده است. در شرایطی که برق رسانی به بسیاری از روستاهای دورافتاده ناممکن بوده و یا اینکه با هزینه بالا همراه می باشد، انرژی های تجدید پذیر راه مطمئنی برای تولید برق در این مناطق می باشند. با نصب سلول خورشیدی و یا توربین بادی می توان ساکنین این مناطق را از انرژی الکتریکی بهره مند نمود.

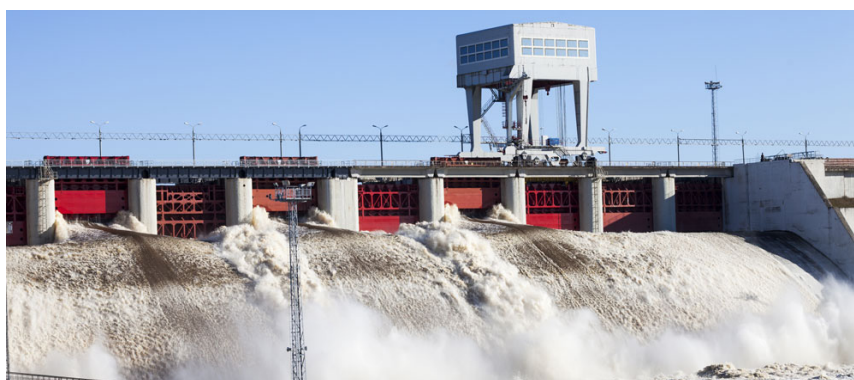
خوشبختانه با رشد چشمگیر سرمایه گذاری کشورها در حوزه انرژی های تجدید پذیر، سهم آنها در تولید برق به شدت افزایش یافته است. تنها چالش اصلی، هزینه بالای نصب و راه اندازی تجهیزات اولیه است. اما پس از راه اندازی، هزینه نگهداری مولدهای برق بادی یا برق خورشیدی بسیار پایین است. ایران، یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید محسوب می شود چراکه تعداد روزهای آفتابی کشورمان، از متوسط جهانی بالاتر است. هم اکنون، استفاده از مولدهای دوگانه^۱ باد و خورشید مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. جذابیت استفاده توأم از این دو منبع انرژی در آن است که معمولاً میزان دسترسی به آنها، همپوشانی زمانی کمی با یکدیگر دارند. بنابراین در زمانی که

^۱. Hybrid

دسترسی به انرژی خورشیدی مقدور است، از این منبع برای تأمین انرژی و شارژ باتری‌ها استفاده می‌شود. پس از آن با کاهش نور خورشید، از توربین‌های بادی به منظور ادامه تولید انرژی استفاده می‌شود. لذا ترکیب دو گانه این منابع، راهکاری مطمئن برای تولید برق پایدار محسوب می‌شود.

انرژی آب را نیز می‌توان مهار نمود و از آن برای تولید برق استفاده نمود. انرژی برق‌آبی، معمولاً با مهار آب در پشت سدهای بزرگ تأمین می‌شود. شکل ۲-۱۶، نحوه تولید انرژی برق‌آبی را به عنوان یکی دیگر از منابع انرژی تجدید پذیر به تصویر می‌کشد. فشار آب، توربین آبی تعبیه شده بر روی دیواره سد را به گردش درمی‌آورد و به این طریق، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. دو شکل دیگر از منابع تولید انرژی برق‌آبی، انرژی امواج دریا و انرژی جذر و مد آب در ساحل می‌باشند. هم‌اکنون تولید برق به این روش‌ها، به شکل محدود در برخی کشورها در حال انجام است.

انرژی اتمی، یکی دیگر از منابع پاک موجود در طبیعت است که برای تولید برق استفاده می‌شود. شکل ۲-۱۷ نمایی از یک نیروگاه برق هسته‌ای را نشان می‌دهد. این نیروگاه‌ها، حالت خاصی از نیروگاه‌های حرارتی است که منبع تولید گرما در آنها، انرژی اتمی می‌باشد. گرمای تولید شده از شکافت هسته‌ای در راکتور اتمی، برای گرم کردن آب، ایجاد بخار و در نهایت به حرکت درآوردن توربین بخار متصل شده به ژنراتور استفاده می‌شود. تشعشعات رادیواکتیو ناشی از پس مانده‌ای هسته‌ای، یکی از مشکلات این روش برای تولید برق است که باید با رعایت تمامی نکات ایمنی به کار گرفته شود. آمارها نشان می‌دهند در سال ۲۰۱۴، در حدود ۴۳۵ نیروگاه هسته‌ای فعال در جهان موجود بوده‌اند.



شکل ۲-۱۶ تولید انرژی برق‌آبی با بهره‌گیری از فشار آب ذخیره شده در پشت یک سد مخزنی.



شکل ۲-۱۷ تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی هسته‌ای.

هم‌اکنون، روش‌های تجدیدپذیر دیگری نیز به‌منظور استحصال انرژی الکتریکی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به انرژی گرمایی موجود در قعر زمین (زمین‌گرمایی)، انرژی گاز هیدروژن و انرژی موجود در زباله اشاره نمود.

۲-۵ گرایش قدرت در ایران و جهان

در این قسمت به معرفی چند شرکت و مؤسسه تحقیقاتی ایرانی با فعالیتهای مرتبط با حوزه قدرت می‌پردازیم. سپس، توانایی‌ها و آینده پیش روی فارغ‌التحصیلان مهندسی برق و قدرت را بررسی می‌کنیم.

۲-۵-۱ معرفی چند شرکت و مؤسسه تحقیقاتی بزرگ در ایران

۱- سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا): با توجه به نقش ویژه منابع تجدیدپذیر انرژی در برنامه‌ها و سیاست‌های جهانی، معاونت امور انرژی وزارت نیرو در سال ۱۳۷۴ اقدام به تأسیس سازمان انرژی‌های نو ایران نمود. در حال حاضر، این سازمان وظیفه مدیریت منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و اجرای پروژه‌های مرتبط با این حوزه (خورشیدی، باد و زمین‌گرمایی و غیره) را بر عهده دارد.

به منظور توسعه انرژی‌های تجدید پذیر در ایران، هیئت وزیران در سال ۱۳۷۸ با تشکیل شرکت دولتی سازمان انرژی‌های نو موافقت نمود تا این شرکت، مدیریت طرح‌های مرتبط با این حوزه را بر عهده بگیرد. این شرکت تا اواخر سال ۱۳۸۱، مسئولیت مدیریت، تحقیقات و توسعه، طراحی و مشاوره ساخت سامانه‌های مبتنی بر انرژی‌های نو را بر عهده داشت تا اینکه از سال ۱۳۸۲، خود به طور مستقیم مجری این طرح‌ها گردید. از ابتدای سال ۱۳۸۶، فعالیت‌هایی که وزارت‌های جهاد کشاورزی و نفت و شرکت توانیر در حوزه انرژی‌های نو داشتند به سانا منتقل شد و این سازمان تنها متولی توسعه انرژی‌های تجدید پذیر در کشور گردید. چشم‌انداز آینده سانا تبدیل نمودن ایران به سرآمد کشورهای در حال توسعه در حوزه استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد. در این راستا، مأموریت‌های سانا موارد زیر می‌باشند.

۱- کمک به پایدارسازی و تنوع منابع انرژی در کشور، توسعه ظرفیت‌ها و کاهش هزینه‌های درازمدت نظام تولید انرژی؛

۲- حفظ محیط زیست و حفاظت از آن، با مدیریت منابع انرژی تجدید پذیر؛

۳- گسترش تولید و مصرف انرژی‌های نو در کشور با حداکثر سازی مشارکت بخش خصوصی در این حوزه.

۲- **مپنا:** مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران یا به اختصار مپنا یک شرکت خدمات مهندسی برق و قدرت در ایران است که در سال ۱۳۷۲ توسط وزارت نیرو تأسیس گردید. این شرکت به همراه شرکت‌های زیرمجموعه خود گروه مپنا را تشکیل می‌دهند که وظیفه اصلی آنها، ساخت و توسعه نیروگاه‌های حرارتی در کشور می‌باشند. در حال حاضر این شرکت به صورت سهامی عام اداره می‌گردد و سهام آن در بورس اوراق بهادار تهران معامله می‌شود. پیش از تأسیس مپنا، تمامی امور اجرایی مربوط به نیروگاه‌های کشور توسط شرکت‌های خارجی انجام می‌شد. هم‌اینک، مپنا با بیش از ۵۶۰۰۰ مگاوات پروژه نیروگاهی خاتمه یافته و در دست اجرا، در به ثمر رسانیدن حدود ۹۰ درصد از ظرفیت تولید انرژی الکتریکی در کشور دخیل است. گروه مپنا همچنین تنها سازنده کلیه تجهیزات نیروگاه‌های حرارتی از جمله توربین‌های گازی و بخار، تجهیزات جانبی توربین و ژنراتور در کشور محسوب می‌شود. این شرکت در حال حاضر در اجرای پروژه‌های نفت و گاز و راه آهن نیز فعال است.

۳- **ایران ترانسفو:** شرکت ایران ترانسفو در سال ۱۳۴۵ و با سرمایه گذاری مشترک شرکت‌های برق منطقه‌ای تهران و زیمنس آلمان و نیز بانک توسعه صنعت و معدن افتتاح شد. این شرکت، یک شرکت

فصل ۲: گرایش قدرت / ۵۵

مادر با تعدادی زیرمجموعه می‌باشد که در زمینه تولید و بهینه‌سازی ترانسفورماتورهای توزیع و انتقال شبکه‌های قدرت در کشور فعال است. ایران ترانسفو به صورت سهامی عام اداره می‌شود. این شرکت، تنها سازنده ترانسفورماتور در ایران و بزرگترین سازنده در خاورمیانه محسوب می‌شود. تولیدات آن به کشورهای منطقه همچون سوریه، عراق و افغانستان صادر می‌شود.

۲-۵-۲ آینده پیش روی

کاربردهای مهندسی برق و قدرت در محیط‌های مسکونی و تجاری به وفور یافت می‌شوند. منبع تغذیه تلفن همراه و منبع تغذیه موجود در رایانه، دو نمونه از کاربردهای محسوس الکترونیک قدرت در زندگی انسان‌ها هستند. موتور دستگاه‌هایی همچون کولر و لباسشویی نیز بر مبنای قوانین ماشین‌های الکتریکی کار می‌کنند. فارغ‌التحصیلان مهندسی برق و قدرت، مهارت فنی لازم به منظور درک نحوه عملکرد، چگونگی نگهداری و بهره‌برداری دستگاه‌ها و کنترل و اجرای پروژه‌های مرتبط با حوزه قدرت را به دست می‌آورند. در محیط‌های صنعتی، کمتر کارخانه‌ای می‌توان یافت که نیازی به تخصص برق و قدرت نداشته باشد. طراحی، تعمیر و بازسازی موتورهای الکتریکی، یک کار تخصصی و حرفه‌ای است که تنها از فردی متخصص در این حوزه ساخته است. نیروگاه‌ها، پست‌های برق منطقه‌ای، شبکه‌های توزیع و انتقال و واحدهای کنترل و تحقیق و توسعه مرتبط با این نهادها بخش‌های دیگری هستند که برای فعالیت نیاز به نیروی متخصص در حوزه قدرت دارند.

فارغ‌التحصیلان مهندسی برق و قدرت همچنین می‌توانند تحصیل در مقاطع تحصیلات تکمیلی را مدنظر قرار دهند. برخی زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با این حوزه، ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک قدرت و مدیریت انرژی الکتریکی، انرژی‌های نو و توسعه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز است.

مسائل فصل دوم

- ۱-۲- چرا دامنه ولتاژ خروجی نیروگاه را قبل از خطوط انتقال توسط ترانسفورماتور افزایش می‌دهند؟
- ۲-۲- سازوکار تولید انرژی الکتریکی در یک نیروگاه برق حرارتی چگونه است؟ توضیح دهید.
- ۳-۲- وظیفه‌ی پست یا ایستگاه فرعی برق در شبکه‌های توزیع و انتقال چیست؟
- ۴-۲- اولین نیروگاه برق توسط چه کسی راه‌اندازی شد؟ ایده تولید ولتاژ و جریان الکتریکی متناوب، برای اولین بار توسط چه فردی مطرح شد؟
- ۵-۲- اولین مولد تولید برق در ایران، چه سالی به کار افتاد؟ بازار برق ایران از چه سالی به راه افتاد؟
- ۶-۲- سه مورد از دروس تخصصی مرتبط با گرایش قدرت را در مقطع کارشناسی نام برده و محتوای آموزشی هر یک را به اختصار توضیح دهید.
- ۷-۲- زیرشاخه‌های گرایش قدرت را نام برده و حوزه فعالیت هر یک را به اختصار شرح دهید.
- ۸-۲- سه مورد از دروس تخصصی مرتبط با زیرشاخه سیستم‌های قدرت در مقطع کارشناسی را نام ببرید.
- ۹-۲- دو مورد از دروس تخصصی زیرشاخه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی را در مقطع کارشناسی نام ببرید.
- ۱۰-۲- در مورد حوزه تخصصی الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی توضیح داده و چند مورد از کاربردهای آن را نام ببرید.
- ۱۱-۲- در زیرشاخه‌ی برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های انرژی الکتریکی چه مباحثی مطرح می‌شوند؟ توضیح دهید.
- ۱۲-۲- مزایای استفاده از شبکه‌ی هوشمند برق چه مواردی هستند؟ نام ببرید.
- ۱۳-۲- چند نمونه از انرژی‌های تجدید پذیر را نام برده و در خصوص هر یک به اختصار توضیح دهید.
- ۱۴-۲- از دلایل ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، سه مورد را ذکر نمایید. مشکل اصلی استفاده از انرژی اتمی به منظور تولید برق چیست؟
- ۱۵-۲- چند کاربرد مهندسی برق و قدرت را در محیط منزل نام ببرید.
- ۱۶-۲- دو شرکت و مؤسسه بزرگ تحقیقاتی را که در زمینه مهندسی برق و قدرت در ایران فعالیت دارند، نام برده و حوزه فعالیت هر یک را مشخص کنید.

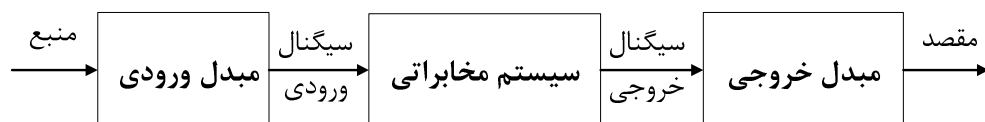
فصل ۳

گرایش مخابرات

مهندسی مخابرات^۱ یکی از گرایش‌های مهندسی برق است که حوزه اصلی آن به ارسال و دریافت اطلاعات با استفاده از سیگنال‌های الکتریکی و از طریق تجهیزات الکتریکی باز می‌گردد. این اطلاعات می‌توانند شامل صدا، تصویر و داده‌های دیجیتال باشند. یک سیستم مخابراتی، اطلاعات را از مبدأ به مقصد با فاصله‌ای معین می‌فرستد و اغلب شامل مدارهای الکترونیکی، آنتن و مسیر انتقال امواج است. طراحی و پیاده‌سازی این سیستم، عرصه‌های مختلفی از مهندسی برق را در برمی‌گیرد.

به منظور انتقال اطلاعات غیر الکتریکی همچون صدا، تصویر، متن و یا کمیت‌های فیزیکی محیط (مانند دما و فشار)، قبل از هر چیز باید آنها را با استفاده از یک مبدل ورودی مناسب به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل نمود. سیگنال‌های الکتریکی قابل فهم توسط تجهیزات الکترونیکی هستند و می‌توان آنها را به سادگی منتقل نمود. پس از انتقال نیز باید سیگنال‌های الکتریکی را به کمک مبدل خروجی مناسب، به شکل اولیه بازگرداند. این موضوع در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. به عنوان نمونه عملی از این آرایش، میکروفون در انتقال صدا نقش مبدل ورودی و بلندگو نقش مبدل خروجی را دارد. امروزه مهندسی مخابرات جنبه‌های مختلف از زندگی فردی و اجتماعی افراد را تحت تأثیر قرار داده و بخش مهمی از صنعت و تجارت جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. این حیطه از علم و فناوری، فرصت‌های پژوهشی و شغلی مهمی را در دنیای امروزی در بر می‌گیرد.

¹. Telecommunication Engineering



شکل ۳-۱ آرایش یک سیستم مخابراتی با مبدل‌های ورودی و خروجی.

۳-۱-۳ گرایش مخابرات در دانشگاه‌های ایران

در دانشگاه‌های کشورمان، امکان تحصیل در مهندسی مخابرات در هر سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا فراهم می‌باشد. از درس‌های پایه این رشته در مقطع کارشناسی می‌توان به ریاضی مهندسی، تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، مدارهای الکتریکی، الکترونیک و الکترومغناطیس اشاره نمود. دروس اصلی مهندسی مخابرات در مقطع کارشناسی شامل مخابرات ۱ و ۲، میدان‌ها و امواج، الکترونیک آنالوگ، مدارهای مخابراتی، میکروویو، آنتن و انتشار امواج، فیلتر و سنتز و اصول میکرو کامپیوترها می‌باشند. دو زیرگرایش اصلی مهندسی مخابرات برای ادامه تحصیل در مقاطع تحصیلات تکمیلی، یکی **میدان** و دیگری **سیستم** است. در زیرگرایش میدان، تئوری‌های بنیادی میدان‌های الکترومغناطیسی، نحوه انتشار امواج و راهکارهای طراحی آنتن بحث می‌شوند. این زیرگرایش بیشتر جنبه موج بودن اطلاعات ارسالی و دریافتی را مورد توجه قرار می‌دهد. در برخی از دانشگاه‌های مادر، زیرگرایش میدان با عنوان ماکروویو و نور ارائه می‌شود و تمرکز اصلی آن، نحوه انتقال اطلاعات به شکل نور و با استفاده فیبرهای نوری می‌باشد.

در زیرگرایش سیستم به مباحثی مهمی همچون طراحی سیستم مخابراتی، فشرده‌سازی، ذخیره و بازیابی اطلاعات، تشخیص خطا و **مدولاسیون** (تغییر فرکانس امواج ارسالی به منظور ارسال و دریافت بدون اعوجاج آنها و تطبیق دادن امواج با کانال انتقالی) پرداخته می‌شود. در سال‌های اخیر، برخی دانشگاه‌ها زیرگرایش دیگری با عنوان **رمز** نیز ارائه نموده‌اند که به موضوع رمزنگاری اطلاعات و امنیت شبکه‌های ارتباطی و رایانه‌ای می‌پردازد. این زمینه را نیز می‌توان از زیرمجموعه‌های زیرگرایش سیستم دانست.

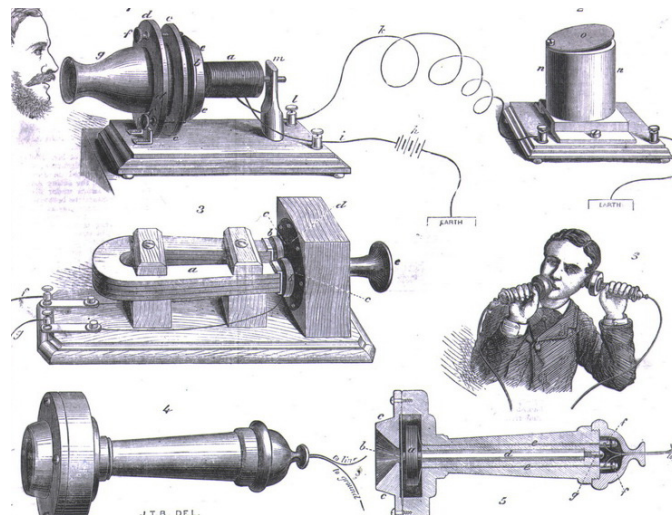
۲-۳ پیشینه تاریخی

انسان از دیرباز به دنبال راه‌هایی برای انتقال پیام خود به دیگران بوده است. ارتباطات نخستین برای انتقال مفاهیم و پیام‌ها، با ایما و اشاره و بعدها با کلام و ترسیم و خط انجام می‌شدند. برای انتقال پیام به فواصل دورتر، اما، بشر در طول تاریخ از ابزارهای دیگری همچون آتش، دود، تابش نور (همچون فانوس‌های دریایی)، صدای طبل، شیپور و کبوترهای نامه‌بر بهره می‌گرفت.

با آغاز انقلاب صنعتی و اکتشافات مرتبط با سیگنال‌های الکتریکی و امواج الکترومغناطیس، انتقال پیام نیز شکل تازه‌ای به خود گرفت و مهندسی مخابرات به شکل نوین آن پا به عرصه وجود گذاشت. نخستین پیشرفت‌ها در اوایل قرن نوزدهم انجام شد که شامل مطالعات و آزمایش‌های ولت، اورستد، آمپر، فارادی، هنری و اهم بود. بر مبنای همین مشاهدات، گوس، وبر و ویستون موفق به ساخت اولین دستگاه‌های تلگراف شدند. این دستگاه‌ها بعدها توسط مورس تکمیل شدند و با استفاده از آنها اولین سرویس تجاری تلگراف در سال ۱۸۴۴ راه‌اندازی گردید. ادیسون اولین مبدل انرژی کربنی یا میکروفون را در نیمه دوم قرن نوزدهم اختراع کرد. تقریباً به طور همزمان، امکان ارتباط تلفنی توسط الکساندر گراهام بل ایجاد شد و نخستین مدارهای کابلی و مراکز تلفنی پا به عرصه وجود گذاشتند. شکل ۲-۳ تصویر یکی از نخستین تلفن‌های ساخته‌شده توسط گراهام بل را نمایش می‌دهد. عصر ارتباطات بی‌سیم هم‌زمان با طرح شدن نظریات ماکسول و راستی‌آزمایی آنها توسط هرتز آغاز شد. در سال ۱۸۹۷، مارکونی کاربرد ارتباطات رادیویی در سیستم تلگراف بی‌سیم را اثبات نمود و آن را تکمیل کرد. به دنبال آن، پخش نخستین صدا و موسیقی در سال ۱۹۰۶ آغاز گردید.

عصر مخابرات الکترونیکی از اوایل قرن بیستم آغاز می‌شود. در این سال‌ها، فارست نوعی لامپ خلأ با سه الکتروود به نام **تریود** ابداع نمود که می‌توانست امواجی با فرکانس‌های مختلف را از یکدیگر تفکیک کند. با استفاده از تریود، امکان پخش اولین رادیوی مدولاسیون فرکانس^۱ (AM) با فرکانس مشخص فراهم شد. در سال ۱۹۱۵، شرکت بل خطوط تلفن میان‌قاره‌ای با تکرارکننده‌های الکترونیکی را تکمیل نمود. در سال ۱۹۱۸، آرمسترانگ نخستین گیرنده رادیویی فرکانس‌گزین را تکمیل نمود و اولین ایستگاه پخش رادیوی خصوصی پا به عرصه وجود گذاشت. در طی دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰، لامپ‌های اشعه

^۱. Amplitude Modulation



شکل ۳-۲: تصویری از تلفن گراهام بل.

کاندی توسط دومون و دیگران کامل شدند و با استفاده از آنها، آزمایش میدانی و پخش تجربی تلویزیون آغاز گردید. در سال های بعد به ویژه در اثنای جنگ جهانی دوم (۱۹۳۹ تا ۱۹۴۵)، سامانه های رادار و ماکروویو پیشرفت های فنی و تئوری قابل توجهی داشتند. در سال ۱۹۶۲، مخابرات ماهواره ای با ماهواره **تل استار ۱** کلید خورد. از حدود همین سال بود که ارتباطات دیجیتال پرسرعت نیز گسترش یافتند. از نیمه دوم دهه ۱۹۶۰، سامانه های مخابراتی پهن باند عرضه شدند. در این سال ها، سیستم تلویزیون کابلی، سرویس رله مخابراتی تجاری و ارتباطات نوری با استفاده از لیزر و فیبرهای نوری پدیدار شدند. در سال ۱۹۶۹، آرپانت (شبکه ای که بعدها به اینترنت تبدیل شد)، راه اندازی گردید. در سال ۱۹۷۱ میلادی، نخستین ایمیل یا رایانامه با موفقیت ارسال و دریافت شد. در سال ۱۹۷۲، شرکت موتورولا اولین تلفن همراه را ابداع کرد. در سال ۱۹۸۳ و با بهره گیری از ایده آرپانت، پروتکل اینترنت به نام TCP/IP به عنوان پروتکل استاندارد شبکه سازی به طور کامل تکمیل گردید. در دهه ۱۹۹۰، سامانه های ارتباط دیجیتال همگانی شامل تلفن های همراه دیجیتال نسل دو (2G)، خطوط مشترک دیجیتال (DSL)، فناوری شبکه محلی بی سیم یا Wi-Fi و استانداردهای تلویزیون دیجیتال عرضه شدند و در اواخر این دهه سرویس تلویزیون دیجیتال در ایالات متحده آمریکا راه اندازی گردید.

صنعت مخابرات در قرن بیست و یک میلادی، با شتابی فزاینده در حال رشد و توسعه بوده است. از جمله این پیشرفت‌ها می‌توان به امکان کدگذاری و ارسال صدا مشابه با پروتکل اینترنت (صدا بر روی آی‌پی)^۱، عرضه نسل سه و چهار تلفن همراه، امکان اتصال و کنترل تمامی وسایل پیرامون از طریق اینترنت (اینترنت اشیا)، استانداردسازی شبکه‌های بی‌سیم برای انتقال داده با سرعت‌های بسیار بالا (سیستم وایمکس)^۲ و همگانی شدن تلویزیون دیجیتال اشاره نمود. در ادامه این فصل، به بررسی اجزا و جزئیات سیستم‌های مخابراتی می‌پردازیم تا از این طریق، نوع فعالیت‌های شغلی مهندسان مخابرات را بهتر بشناسیم.

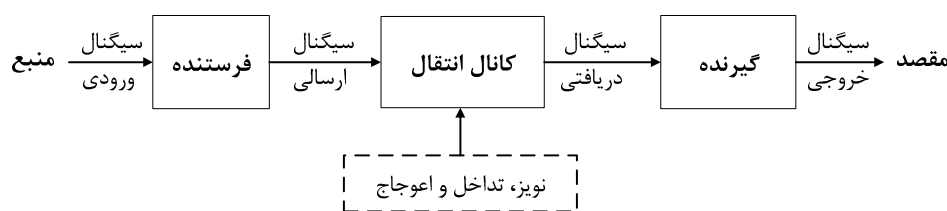
۳-۳- اجزای یک سیستم مخابراتی

شکل ۳-۳ اجزای یک سیستم مخابراتی شامل سه بخش اصلی فرستنده، کانال مخابراتی و گیرنده را نمایش می‌دهد. در اینجا به تفکیک، به بررسی هر یک از این بخش‌ها می‌پردازیم.

۱- فرستنده: فرستنده سیگنال ورودی را پردازش کرده تا مناسب برای انتقال در کانال مخابراتی شود. پردازش سیگنال برای انتقال معمولاً با مدولاسیون همراه است و می‌تواند شامل کدگذاری باشد.

۲- کانال مخابراتی: محیطی الکتریکی و واسط بین منبع و مقصد می‌باشد. این کانال می‌تواند یک زوج سیم، یک کابل هم‌محور، محیط انتقال امواج رادیویی و یا پرتو لیزر باشد. هر کانال انتقال دارای مقداری تضعیف یا تلفات است. لذا با افزایش فاصله، توان سیگنال دریافت شده به تدریج کمتر می‌شود.

۳- گیرنده: گیرنده، بر روی سیگنال خروجی کانال عمل کرده و سیگنال مناسب را در مقصد ایجاد می‌کند. در عمل، گیرنده شامل مدارهای تقویت کننده برای جبران تلفات کانال، مدارهای الکترونیکی



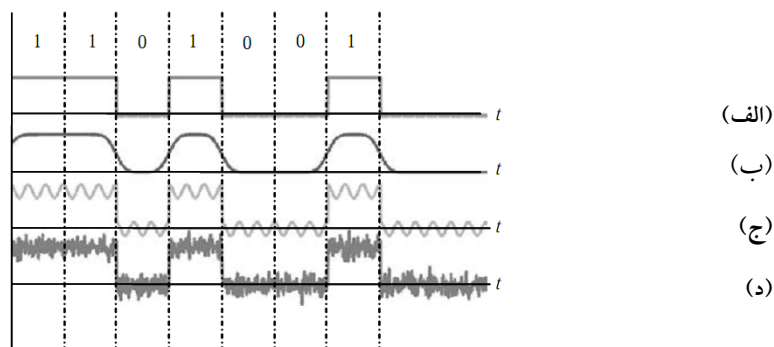
شکل ۳-۳ اجزای یک سامانه مخابراتی.

^۱. Voice over IP or VoIP

^۲. WiMAX or Worldwide Interoperability for Microwave Access

برای دمدولاسیون (عکس عمل مدولاسیون) و الگوریتم‌های کدبرداری برای معکوس کردن پردازشی است که بر روی سیگنال ارسالی از فرستنده انجام شده است. فیلتر کردن عمل مهم دیگری است که باید برای حذف سیگنال‌های ناخواسته در گیرنده انجام شود. در مسیر انتقال سیگنال از مبدأ به مقصد، اثرات ناخواسته و نامطلوبی رخ می‌دهند که کیفیت سیگنال دریافت شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از این آثار، تضعیف است که باعث کاهش قدرت سیگنال در گیرنده می‌شود؛ اما اعوجاج^۱، تداخل و نویز^۲ که باعث تغییر شکل یا مشخصه فرکانسی سیگنال می‌شوند از تضعیف مهم‌تر هستند. اگرچه این اثرات ناخواسته ممکن است در هر قسمتی از فرستنده و یا کانال ارتباطی رخ دهند ولی طبق قرارداد، اثر همه آنها در کانال مخابراتی لحاظ شده و فرستنده و گیرنده ایده‌آل فرض می‌شوند. این نکته در شکل ۳-۳ نیز مشهود می‌باشد. شکل ۳-۴ الف، مشخصه زمانی یک رشته دیجیتال ایده‌آل را نشان می‌دهد که معرف عدد باینری 1101001 است. قسمت‌های (ب)، (ج) و (د) به ترتیب اثر آلودگی‌های ناشی از اعوجاج، تداخل و نویز را بر روی این رشته نشان می‌دهند. در ادامه به بررسی این سه اثر نامطلوب می‌پردازیم.

الف) اعوجاج: اعوجاج تغییری در شکل موج ارسالی است که در اثر نقصان خود سیستم به انتقال مطلوب سیگنال ایجاد می‌شود. برخلاف نویز و تداخل، اعوجاج با نبود سیگنال از بین می‌رود. اگر کانال پاسخی خطی ولی همراه با اعوجاج داشته باشد، می‌توان اعوجاج را به کمک فیلترهای خاصی موسوم به متعادل‌کننده^۳ حذف کرد و یا به حداقل رسانید.



شکل ۳-۴ سیگنال ایده‌آل و آلودگی‌های ناشی از اعوجاج، تداخل و نویز.

^۱. Distortion

^۲. Noise

^۳. Equalizer

ب) تداخل: آلودگی سیگنال اصلی در اثر منابع خارجی از جمله منابع انسانی نظیر سایر فرستنده‌ها، خطوط انتقال و ماشین‌آلات را تداخل می‌گویند. غالباً تداخل در آن دسته از سامانه‌های رادیویی ایجاد می‌شود که گیرنده، قابلیت دریافت سیگنال‌های دیگر را نیز در مقصد دارد. تداخل در فرکانس‌های رادیویی (RF)^۱ حتی می‌تواند در سامانه‌هایی رخ دهد که کانال ارتباطی آنها از نوع کابلی می‌باشد. در این سامانه‌ها، سیم‌های انتقال و مدار گیرنده سیگنال‌های تابشی از سمت فرستنده‌های نزدیک را نیز دریافت می‌کنند. می‌توان تداخل را با فیلتر کردن مناسب کم کرد به شرط آنکه سیگنال‌های تداخلی در بازه فرکانسی دیگری به غیر از باند فرکانسی امواج حاوی اطلاعات قرار داشته باشند.

ج) نویز: سیگنال الکتریکی تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی که به‌طور طبیعی در داخل مدارهای الکتریکی و نیز در محیط اطراف وجود دارد را نویز گویند. وقتی این تغییرات تصادفی بر روی سیگنال حاوی اطلاعات سوار شوند ممکن است پیام تا حدی تخریب شده و یا به‌طور کامل از بین برود. اگرچه فیلتر کردن سیگنال، آلودگی به نویز را کاهش می‌دهد ولی همواره مقداری نویز به‌طور اجتناب‌ناپذیر باقی می‌ماند. این نویز یکی از محدودیت‌های اساسی سیستم در ارسال و دریافت سیگنال محسوب می‌شود. شکل ۳-۳، نحوه انتقال سیگنال به‌صورت تک‌سویه یا ساده^۲ را نشان می‌دهد. برای مخابره اطلاعات به شکل دوطرفه، باید در هر دو طرف هم فرستنده و هم گیرنده موجود باشند. سیستم دوطرفه کامل^۳ شامل کانال ارتباطی ویژه‌ای است که مخابره هم‌زمان را از هر دو سو ممکن می‌کند. در سیستم نیمه دوطرفه^۴، انتقال سیگنال در هر دو جهت تنها به‌صورت غیرهم‌زمان امکان‌پذیر است.

۳-۳-۱ محدودیت‌های طراحی

هنگام طراحی یک سیستم مخابراتی، مهندس مخابرات با دو محدودیت اساسی مواجه است. از یک سو، محدودیت‌های فناوری از قبیل نبود سخت‌افزار مناسب، ملاحظات اقتصادی، قوانین دولتی و نظایر آن وجود دارند و از سمت دیگر، محدودیت‌های اساسی فیزیکی و قوانین طبیعت مشکل ایجاد می‌کنند. دو محدودیت اساسی دیگر یعنی پهنای باند محدود و نویز نیز در هنگام انتقال اطلاعات با ابزارهای الکتریکی

^۱ Radio Frequency

^۲ Simplex

^۳ Full-Duplex

^۴ Half-Duplex

وجود دارند که باعث ایجاد خطا می‌شوند. پهنای باند، معیاری از سرعت ارسال و دریافت اطلاعات است. در عمل، هنگامی که یک شکل موج به سرعت در حال تغییر با زمان است محتوا یا طیف فرکانسی آن گستره وسیعی از فرکانس‌ها را شامل می‌شود. به این گستره فرکانسی پهنای باند می‌گویند. هر سیستم مخابراتی، پهنای باند فرکانسی محدودی داشته و تنها محدوده مشخصی از فرکانس‌ها را به‌خوبی انتقال می‌دهد. اگر این پهنای باند از پهنای باند سیگنال انتقالی کمتر باشد موجب اعوجاج در آن خواهد شد.

نویز منابع مختلفی دارد؛ اما یکی از مهمترین انواع موجود در همه سیستم‌های مخابراتی، نویز حرارتی می‌باشد. این نویز در نتیجه حرکت تصادفی ذرات باردار به وجود می‌آید که در مورد آن در فصل اول بحث نمودیم. پارامتری که در اندازه‌گیری میزان نویز در هر نقطه از سیستم مخابراتی با اهمیت است، نسبت توان سیگنال به توان نویز^۱ یا به اختصار SNR می‌باشد. اگر این نسبت بزرگ باشد، اثر نویز در مقابل سیگنال قابل صرف نظر کردن می‌باشد و اگر کوچک باشد، اثر آن قابل ملاحظه بوده و می‌تواند دریافت اطلاعات در مقصد را با خطا مواجه نماید.

۲-۳-۳ مدولاسیون

مدولاسیون عملیاتی است که در فرستنده برای انتقال مؤثر و قابل اعتماد اطلاعات انجام می‌شود. دو سیگنال در عمل مدولاسیون اثرگذار هستند؛ اول سیگنال مدوله‌کننده که همان پیام اصلی است و گاهی سیگنال باند پایه نیز نامیده می‌شود و دوم، موج حامل^۲ که معمولاً فرکانس بالاتری نسبت به سیگنال مدوله‌کننده دارد. مدولاتور، ظاهر موج حامل را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که متناسب با تغییرات سیگنال مدوله‌کننده یا پیام باشد. از این‌روی، شکل موج مدوله‌شده اطلاعات پیام را حمل می‌کند.

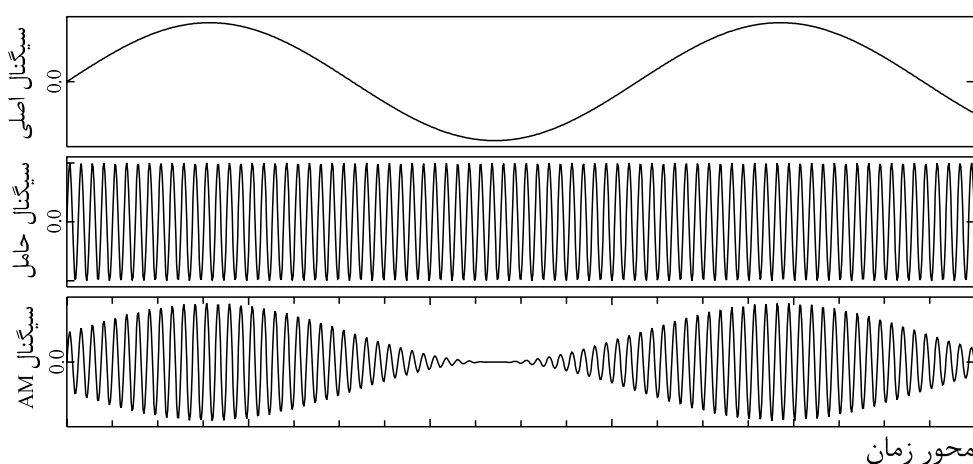
در فرآیند مدولاسیون، یکی از مشخصه‌های سیگنال حامل (مثل دامنه، فرکانس یا فاز) متناسب با تغییرات سیگنال اصلی تغییر می‌کند. هدف از این کار افزایش برد امواج ارسالی، کاهش اثر نویز بر آن، انطباق سیگنال با محدوده فرکانسی کانال و در نهایت استفاده بهینه از پهنای باند کانال برای انتقال همزمان چند سیگنال می‌باشد. برای فهم بهتر این موضوع، فرض کنید که کانال مخابراتی فضای آزاد باشد. واضح است که برای ارسال و دریافت امواج در این محیط به آنتن نیاز داریم. طول آنتن مورد نیاز به فرکانس و

^۱. Signal-to-noise ratio

^۲. Carrier

طول موج سیگنال ارسالی بستگی دارد و با کاهش فرکانس، افزایش می‌یابد. برای مثال، امواج صوتی عمدتاً دارای طیف فرکانسی زیر 4 KHz هستند و اگر بخواهیم آنها را به‌طور مستقیم ارسال و دریافت کنیم به آنتنی با طول در حدود صد کیلومتر نیاز داریم! واضح است که ساخت چنین آنتنی با این طول عملی نیست. ولی اگر از مدولاسیون برای سوار کردن این موج بر روی موج حامل با فرکانس 100 MHz استفاده کنیم در این صورت طول آنتن مورد نیاز مرتبه متر خواهد بود.

مدولاسیون انواع مختلفی دارد که بحث در مورد آنها فراتر از حد این کتاب می‌باشد. شکل ۳-۵ نمونه‌ای از مدولاسیون دامنه یا AM را به تصویر می‌کشد. سیگنال مدوله‌کننده (به شکل یک شکل موج سینوسی با فرکانس پایین) در بالا و سیگنال حامل در وسط نشان داده شده‌اند. شکل پایین، سیگنال نهایی را پس از مدوله‌سازی نشان می‌دهد. واضح است که دامنه سیگنال نهایی متناسب با سیگنال مدوله‌کننده و فرکانس آن با سیگنال حامل برابر است.



شکل ۳-۵ نمونه‌ای از مدولاسیون دامنه.

۳-۴ شبکه‌ها و مراکز مخابراتی

سرویس‌های مخابراتی در قالب شبکه‌ها و زیرسیستم‌های مشخصی عرضه می‌شوند. در این بخش به‌طور مختصر به مهمترین موارد آن اشاره می‌کنیم. قبل از هر چیز دو اصطلاح مهم تعریف می‌شوند.

الف) شبکه دسترسی^۱: شبکه یا به تعبیری بخشی از یک شبکه مخابراتی گسترده است که دسترسی همگانی را به یک سرویس مخابراتی مشترک فراهم می‌کند. قدیمی‌ترین و رایج‌ترین شبکه دسترسی، شبکه تلفن ثابت است که در آن مشترکین معمولاً از طریق سیم با نزدیک‌ترین مرکز مخابراتی موجود در اطراف ارتباط برقرار می‌کنند. با ظهور فناوری‌های نوین بی‌سیم و باسیم، امروزه تنوع شبکه‌های دسترسی نیز به طرز باورنکردنی افزایش یافته است. از جمله این دسترسی‌ها می‌توان به دسترسی مبتنی بر فیبر نوری و یا مبتنی بر امواج رادیویی همچون سامانه‌های رادیویی نقطه‌به‌نقطه^۲ یا نقطه به چند نقطه^۳ یا سلولی (تلفن همراه) اشاره کرد.

ب) شبکه انتقال: در مخابرات ارسال اطلاعات از مبدأ به مقصد و برعکس را انتقال می‌گویند. اگر هر یک از مراکز مخابراتی را به شکل یک گره در نظر بگیریم، شبکه انتقال به مجموعه‌ای از خطوط، مدارها و تجهیزاتی گفته می‌شود که این گره‌ها را به شکل فیزیکی و یا رادیویی به یکدیگر وصل می‌کنند. محیط یا کانال انتقال می‌تواند کابل مسی (زوج سیم مسی)، کابل هم‌محور، فیبر نوری و یا هوا باشد.

۳-۴-۱ شبکه تلفن ثابت

شبکه تلفن ثابت یا شبکه تلفن عمومی سوئیچ شده (PSTN^۴)، یک شبکه جهانی است که برای ارسال و دریافت صدا به وجود آمده است. به این سرویس، گاهی سرویس تلفنی قدیمی ساده^۵ نیز گفته می‌شود. این شبکه به صورت تجمیعی از شبکه‌های تلفنی مرتبط با یکدیگر است که از دوره ابداع تلفن توسط گراهام بل تا به امروز تکامل یافته است. امروزه تقریباً تمامی این شبکه به جز مسیر نهایی از مرکز تلفن به سمت مشترکین از نوع دیجیتال است. از PSTN به عنوان یک شبکه دسترسی به اینترنت با استفاده از مودم به ویژه برای مشترکین خانگی نیز استفاده می‌شود. در این شبکه، هر مشترک با یک زوج سیم مسی به مرکز تلفن محلی خود متصل است. مرکز تلفن، محل نصب مجموعه‌ای از تجهیزات مخابراتی است که اتصال مشترکین با شبکه مخابراتی را انجام می‌دهد. عملکرد اصلی این مرکز، برقراری مسیر ارتباطی با سایرین متناسب با درخواست مشترک می‌باشد. زمانی که فرد قصد تماس گرفتن با دیگری را دارد، گوشی تلفن را

^۱ Access network

^۲ Point-to-Point

^۳ Point-to-Multiple points

^۴ Public Switched Telephone Network

^۵ Plain Old Telephone Service or POTS

برمی‌دارد و صدای بوق ممتدی را می‌شنود. این صدا به معنای آن است که وی مجاز به برقراری تماس و استفاده از شبکه تلفن ثابت می‌باشد. با انجام شماره‌گیری، شماره موردنظر به مرکز تلفن منتقل می‌شود تا بر اساس آن، کلید زنی لازم انجام گرفته و تماس با مخاطب برقرار گردد. سامانه‌های کلیدزنی یا سوئیچینگ، قلب شبکه‌های ارتباطی برای برقراری ارتباط با مشترکین محسوب می‌شوند. نسل اول سوئیچ‌ها از نوع آنالوگ بودند که راه‌اندازی و سیم‌کشی آنها دشوار بود و به فضای زیادی نیاز داشت. این سوئیچ‌ها اطلاعات را به شکل آنالوگ رد و بدل می‌کردند. اما با ظهور سوئیچ‌های دیجیتال و تبدیل دیجیتال صدا، هم‌اکنون بهبود قابل ملاحظه‌ای در کیفیت صدای منتقل شده به وجود آمده است.

۳-۴-۲ شبکه سیار

اگر در یک شبکه تلفنی، امکان جابجایی دستگاه‌های تلفن توسط استفاده‌کنندگان وجود داشته باشد به آن شبکه سیار (موبایل) گفته می‌شود. نسل اول شبکه‌های سیار، از نوع آنالوگ بودند؛ ولی نسل دوم آنها مبتنی بر راهکارهای دیجیتال بودند که اصطلاحاً GSM^۱ نامیده می‌شدند. در این نسل امکان ارسال پیامک نیز علاوه بر صدا فراهم شد. با انجام اصلاحاتی در نسل دوم، بعدها امکان انتقال داده نیز فراهم شد و نسل 2.5 موبایل نام گرفت. در نسل سوم موبایل (3G)، امکان انتقال داده با سرعت بیشتری فراهم شده است. پس از نسل سوم، هم‌اکنون نسل چهارم (4G) در کشورهای پیشرفته عرضه شده است. از دید کاربر، مهم‌ترین تفاوت این نسل با نسل‌های گذشته امکان دستیابی به سرعت‌های انتقال داده بسیار بالاتر می‌باشد.

۳-۴-۳ شبکه داده

هدف اصلی در شبکه داده، انتقال اطلاعات بین دو یا چند رایانه یا سامانه دیجیتال می‌باشد. شاید مهم‌ترین مصداق آن در دنیای امروزی اینترنت باشد که در آن می‌توان بر روی زوج سیم مسی و با استفاده از مودم‌های شماره‌گیر^۲، به حداکثر سرعت 64 Kbps (شصت و چهار کیلو بیت بر ثانیه) دست یافت. چنانچه اتصال از طریق مودم‌های DSL^۳ برقرار گردد، دستیابی به سرعت‌های بالاتر نیز امکان‌پذیر می‌شود. برای

^۱. Global System for Mobile communication

^۲. Dial-up

^۳. Digital Subscriber Line

دستیابی به سرعت‌های بالاتر از 8 Mbps به فیبر نوری نیاز داریم. علاوه بر سرویس اینترنت، امروزه برخی شبکه‌های داده مهم دیگر نیز وجود دارند که عبارت از موارد زیر می‌باشند.

۱- اینترنت: وجود یک بستر گسترده انتقال داده در مراکز بزرگ صنعتی، تجاری و تحقیقاتی، امکان ارائه سرویسی به نام «اینترنت» را به مشترکین درون این شبکه‌ها فراهم نموده است. آدرس‌دهی خصوصی به هر متقاضی در داخل اینترنت بر مبنای همان پروتکل اینترنت (IP)^۱ انجام می‌گیرد. با اتصال متقاضیان به شبکه، امکان دسترسی به کلیه میزبان^۲ های داخلی شامل آدرس‌های معتبر درون شبکه‌ای و آدرس‌های خصوصی متصل از سایر نقاط، فراهم می‌گردد. درواقع، اینترنت یک شبکه رایانه‌ای داخلی است که برای تبادل داده از همان پروتکل‌های ارتباطی شبکه اینترنت استفاده می‌کند. چنین شبکه‌ای لزوماً به اینترنت متصل نیست. بااین حال، تمامی خدمات موجود در اینترنت از قبیل رایانامه، صفحات شخصی، گروه‌های خبری و گفتگوی مستقیم را برای کاربران فراهم می‌کند. از نمونه‌های مشهود سرویس اینترنت می‌توان به بستر اینترنت داخلی یک کشور و سامانه‌های اتوماسیون درون سازمان‌ها اشاره نمود.

۲- سرویس VPN/MPLS: این سرویس امکان برقراری ارتباط بین دو یا چند نقطه درخواست شده توسط مشترک را از طریق شبکه موجود فراهم می‌کند. با برقراری ارتباط از طریق سوئیچ‌ها، مشترک می‌تواند به صورت مجازی یک شبکه محلی یا LAN^۳ بین دو نقطه ایجاد نماید. سرویس VPN/MPLS شبکه‌های مجازی و خصوصی موجود در بانک‌ها، صندوق‌های اعتباری، سازمان‌های دولتی و شرکت‌های بزرگ را نیز در بر می‌گیرد. این سازمان‌ها با استفاده از این سرویس مشترک می‌توانند یک شبکه مجازی بر روی شبکه داده کشور ایجاد کنند به گونه‌ای که غیر از کاربرهای مجاز، هیچ کاربر دیگری نمی‌تواند به آن دسترسی داشته باشند. به طور خلاصه، کاربرد سرویس VPN/MPLS عبارت از موارد زیر می‌باشد.

الف) بستر ارتباطی جهت ایجاد سامانه‌های مکانیزه درون سازمانی مانند سیستم‌های اتوماسیون اداری؛

ب) بستر ارتباطی جهت ایجاد شبکه اینترنت و ارائه سرویس‌های داخلی برای سازمان‌ها و شرکت‌ها؛

ج) بستر ارتباطی جهت ایجاد سامانه‌های آموزش الکترونیکی؛

د) شبکه تلفن اینترنتی موجود در درون شرکت‌ها با هزینه پایین؛

^۱. Internet Protocol or IP

^۲. Host

^۳. Local Area Network

ه) بستر سیستم ویدیو کنفرانس موجود در برخی شرکت‌ها.

۳- سرویس نقطه به نقطه: مشترکینی که قصد ارتباط بین دو نقطه مشخص را دارند می‌توانند از این سرویس استفاده کنند. از ویژگی‌های آن، انتقال داده، صدا و صدا و داده به صورت هم‌زمان است. سرویس نقطه به نقطه، یک ارتباط متقارن داده و صدا با پهنای باند درخواستی بر روی سیم مسی یا فیبر نوری ایجاد می‌کند. مزایای این سرویس، عبارت از موارد زیر می‌باشد.

الف) امنیت بسیار بالا؛

ب) تضمین سقف پهنای باند در تمام ساعات شبانه‌روز؛

ج) پهنای باند اختصاصی.

۴- سرویس نقطه به چند نقطه: کلیات این سرویس همانند سرویس نقطه به نقطه است. در این سرویس، امکان ارتباط هم‌زمان بین یک نقطه‌ی مرکزی با نقاط مختلف برقرار می‌شود. این سرویس برای مشتریانی مناسب است که یک سایت مرکزی دارند و از طریق آن، با سایر سایت‌ها ارتباط برقرار می‌کنند.

۳-۴- شبکه هوشمند^۱

در حال حاضر اغلب شبکه‌های مخابراتی موجود در دنیا، از نوع هوشمند هستند. شبکه هوشمند بستر ارتباطی میان مشترکین و مراکز مخابراتی را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که کاربرها بتوانند از امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بیشتر از تنها یک مکالمه ساده بهره‌مند گردند. با استفاده از فهرستی از شماره-گذاری‌های مجازی^۲، شبکه هوشمند راه‌یابی‌های خاصی را در شبکه انجام داده و مشترکین را از امکانات اضافی همچون مشاوره، نظرسنجی، انتقال شماره و دیگر موارد مشابه بهره‌مند می‌کند. برخی سرویس‌های مبتنی بر شبکه‌های هوشمند به قرار زیر هستند.

۱- مکالمه اعتباری^۳: از طریق این سرویس و با خرید کارت مکالمه اعتباری، امکان برقراری ارتباط با مقاصد مختلف شهری، بین‌شهری و تلفن‌های همراه فراهم می‌شود.

^۱. Intelligent Network or IN

^۲. Numbering

^۳. Prepaid Service

۲- سرویس مکالمه رایگان: این سرویس با هدف بهبود شیوه اطلاع رسانی و تبلیغاتی شرکت‌ها و سازمان‌های عضو در نظر گرفته شده است. مشترک سرویس مکالمه رایگان می‌پذیرد که هزینه مکالمات دریافتی را خودش پرداخت کند. با این کار مشتریان به برقرار نمودن ارتباط تشویق می‌شوند و به شکل نامحسوس تبلیغات شرکت ارائه‌دهنده را نیز می‌پذیرند.

۳- سرویس مسابقات تلفنی: امکان دریافت کلیه تماس‌ها برای مشترکین با ترافیک تلفنی بالا، از طریق این سرویس فراهم می‌شود. از این دسته می‌توان به شماره تلفن‌هایی اشاره نمود که تلویزیون برای بعضی از برنامه‌های پرمخاطب خود مثل مسابقات اعلام می‌کند.

۴- سرویس رأی‌گیری تلفنی: از این سرویس برای انجام اموری نظیر نظرسنجی و رأی‌گیری استفاده می‌شود.

۵- سرویس شبکه خصوصی مجازی: شرکت‌ها یا سازمان‌های گسترده‌ای که دارای مراکز پراکنده در یک سطح وسیع جغرافیایی هستند، می‌توانند از این سرویس برای ایجاد یک شبکه اختصاصی استفاده کنند.

۶- سرویس مشاوره تلفنی: از طریق این سرویس، امکان استفاده از خدمات مشاوره‌ای و تخصصی در زمینه‌های مختلف حقوقی، پزشکی و فنی با پرداخت هزینه مشاوره فراهم می‌شود. تماس‌گیرنده از ابتدا برای تماس خود، مبلغ بیشتری می‌پردازد تا حق مشاوره مالک خط نیز تامین شود. امکان ارتباط با اینترنت در هر زمان بدون تهیه کارت‌های اعتباری و دسترسی به اخبار و اطلاعات مهم هواشناسی و هواپیمایی از قابلیت‌های این سرویس است.

۷- سرویس صندوق پست صوتی: در زمانی که امکان پاسخ‌گویی به مکالمات وجود ندارد، می‌توان با استفاده از این سرویس تماس‌ها را به صورت پیام صوتی دریافت نمود تا در فرصت مناسب گوش داد.

۸- سرویس برگزاری آزمون: آموزشگاه‌ها می‌توانند برای برگزاری آزمون‌های تستی، از این سرویس استفاده کنند.

۹- سرویس ساعت گویا و اوقات شرعی: مشترکین می‌توانند با برقراری تماس با این سرویس، از زمان دقیق فعلی و اوقات شرعی آن روز باخبر شوند.

۳-۴-۵ زیرسامانه چندرسانه‌ای آی‌پی^۱

زیرسامانه IMS، یک معماری استاندارد برای شبکه‌های نسل آینده^۲ یا NGN محسوب می‌شود. شبکه‌های نسل آینده، هسته ارتباطی میان مراکز مخابراتی و کاربران را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که کلیه سرویس‌ها از قبیل صدا، داده و تصویر، از طریق پکت‌های دیجیتال اطلاعاتی و مشابه با پروتکل‌های اینترنت جابجا شوند. زیرسامانه چندرسانه‌ای آی‌پی، یک هسته مشترک برای ارتباط دادن شبکه‌های بی‌سیم، باسیم، ثابت و داده از این طریق ایجاد می‌کند. این سامانه از یک سو سرویس‌ها و شبکه‌های ارتباطی را یکپارچه می‌کند و از سویی دیگر، با تشخیص نوع سرویس و تخصیص پهنای باند مناسب به آن، کیفیت سرویس را تضمین می‌نماید. درعین حال، امکان تأمین وجه لازم به منظور استفاده از هر سرویس نیز توسط IMS فراهم می‌شود. برخی قابلیت‌های کنونی زیرسامانه چندرسانه‌ای آی‌پی به قرار زیر هستند.

الف) سرویس کارت اعتباری: وقتی کاربر، نام و رمز عبور خود را وارد کند، در صورت داشتن اعتبار و مجوز لازم می‌تواند با هر شماره‌ای تماس بگیرد.

ب) سرویس برقراری تماس از طریق وب: از طریق این سرویس، مشترک می‌تواند تماس خود را از طریق خط اینترنت و با رایانه و یا تلفن دیگری برقرار نماید.

ج) سرویس شبکه خصوصی مجازی: این سرویس، یک بستر خصوصی را برای شرکت‌ها و مراکز خدماتی بر روی شبکه اصلی خطوط مخابرات ایجاد می‌کند. با این کار، هزینه ارتباط میان کاربران داخلی این مراکز کاهش یافته و امکان نظارت بهتر بر روی میزان مکالمه اعضا، فراهم می‌شود.

د) سرویس پایانه با امکان دسترسی به کلیه سرویس‌های شبکه: این سرویس، یک نرم‌افزار کاربردی چندمنظوره با قابلیت نصب بر روی رایانه است که ارائه سرویس‌های مخابراتی از قبیل مکالمه صوتی و تصویری، همایش، پیام فوری، مدیریت گروه و انتقال داده را بر روی خطوط تلفن ممکن می‌کند.

ه) سرویس انتخاب زنگ انتظار: به منظور پخش زنگ انتظار به شکل موسیقی و صدا می‌باشد.

^۱. IP Multimedia Subsystem or IMS

^۲. Next Generation Network

۳-۵ تشکیلات و سازمان‌های مخابراتی در ایران و جهان

در این بخش، به بررسی مهمترین سازمان‌ها و مؤسسات مخابراتی در ایران پرداخته و اتحادیه جهانی مخابرات را به عنوان یک سازمان بین‌المللی و فعال در مهندسی مخابرات معرفی می‌کنیم.

۳-۵-۱ وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

در سال ۱۳۸۲ و همزمان با تغییر نام «وزارت پست و تلگراف و تلفن» به «وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات»، مجموعه قوانین، وظایف و اختیارات جدیدی توسط مجلس شورای اسلامی به این وزارتخانه ابلاغ شدند. موارد زیر از اهداف اصلی تشکیل وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات به حساب می‌آیند.

- ۱- اعمال حاکمیت بر طیف فرکانسی و حفاظت از حقوق رادیویی کشور در سطح بین‌المللی؛
 - ۲- تمرکز بر امور سیاست‌گذاری، تدوین ضوابط و استانداردها و نظارت بر حسن اجرای قوانین در بخش‌های مختلف ارتباطات پستی، مخابراتی و فناوری اطلاعات نظیر خدمات متعارف پستی، مخابراتی، ارتباطات فضایی، رادیویی، انتقال داده، صدا و تصویر، سنجش از راه دور و ارتباطات رایانه‌ای؛
 - ۳- ایجاد بستری مناسب به منظور ارتباط، آمایش و پردازش اطلاعات و سیاست‌گذاری در زمینه توسعه امکانات و خدمات ارتباطی مذکور هماهنگ با آخرین پیشرفت‌های علمی، تجربی و فناوری در جهان.
- برای دستیابی هر چه بیشتر به اهداف فوق، علاوه بر شرکت مخابرات ایران، شرکت‌های فناوری اطلاعات، ارتباطات زیرساخت و ارتباطات سیار نیز در چندین سال گذشته تأسیس شده‌اند. تشکیل سازمان فضایی ایران و سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی نیز از تحولات مهم سال‌های اخیر به حساب می‌آیند.

به دنبال اجرایی شدن اصل ۴۴ قانون اساسی در واگذاری شرکت‌های دولتی به بخش خصوصی در سال ۱۳۸۸، دو شرکت فناوری اطلاعات و ارتباطات زیرساخت به عنوان نهادهای حاکمیتی در بدنه وزارتخانه باقی ماندند و شرکت‌های ارتباطات سیار و مخابرات ایران به بخش خصوصی واگذار شدند. هم‌اکنون، شرکت مخابرات ایران به صورت سهامی عام اداره می‌شود و دارای ۳۰ شرکت فرعی در استان‌های مختلف بوده و مالک دو شرکت ارتباط ثابت (آشنای اول) و سیار (همراه اول) می‌باشد. سازمان‌های زیر از زیرمجموعه‌های وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات محسوب می‌شوند.

- ۱- سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی؛
- ۲- سازمان فناوری اطلاعات ایران؛
- ۳- سازمان فضایی ایران؛
- ۴- شرکت ارتباطات زیرساخت؛
- ۵- شرکت پست جمهوری اسلامی ایران؛
- ۶- شرکت دولتی پست بانک؛
- ۷- پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات ایران).

۳-۵-۲ سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی

سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، از ادغام معاونت امور مخابراتی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات با اداره کل ارتباطات رادیویی به وجود آمده و هدف آن، ایفای وظایف و اختیارات حاکمیتی، نظارتی و اجرایی در بخش تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی می‌باشد. این سازمان، یک نهاد مستقل قانون‌گذار و نظارتی است که نقش آن رقابتی کردن بازار ارائه خدمات مخابراتی و بالا رفتن کیفیت خدمات آنها است. موارد زیر از جمله وظایف و اختیارات این سازمان دولتی محسوب می‌شوند.

- ۱- صدور پروانه فعالیت و بهره‌برداری برای ارائه هرگونه خدمات مخابراتی، پستی و فناوری اطلاعات؛
- ۲- تدوین و پیشنهاد استانداردهای ملی مربوط به وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در کشور؛
- ۳- تدوین و تنظیم مقررات، آئین‌نامه‌ها و تعرفه‌ها در بخش‌های مختلف ارتباطات و فناوری اطلاعات؛
- ۴- تنظیم، مدیریت و کنترل فضای فرکانسی کشور و تدوین مقررات و ضوابط استفاده بهینه از آن؛
- ۵- تدوین دستورالعمل نامگذاری دامنه‌ها^۱، تعیین شماره و کد شبکه‌های پستی و مخابراتی و حمایت از حقوق استفاده‌کنندگان از خدمات پستی، مخابراتی و فناوری اطلاعات.

۳-۵-۳ سازمان فناوری اطلاعات ایران

با توجه به نیاز روزافزون کشور به برقراری و توسعه شبکه‌های رایانه‌ای، ارتباط آنها با یکدیگر و

^۱. Domain names

فصل ۳: گرایش مخابرات / ۷۵

به شبکه جهانی، سازمان فناوری اطلاعات ایران از سال ۱۳۷۰ به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های وزارت پست و تلگراف و تلفن آغاز به کار کرد. این سازمان با هدف ایجاد زیرساخت‌های ارتباطی لازم و نیز امکان دسترسی به منابع اطلاعاتی، خدمات و برنامه‌های کاربردی داخلی و خارجی ایجاد شده است. اهداف سازمان فناوری اطلاعات ایران عبارت از موارد زیر می‌باشد.

- ۱- مدیریت، حمایت و ساماندهی امور مربوط به امنیت فضای تبادل اطلاعات، نرم‌افزار و سخت‌افزار، بالا بردن آمادگی الکترونیکی و در نهایت توسعه اینترنت و فناوری اطلاعات در کشور؛
- ۲- مدیریت و نظارت بر یکپارچه‌سازی فعالیت‌های حوزه فناوری اطلاعات و کاربردهای الکترونیک؛
- ۳- هدایت بخش فناوری اطلاعات کشور به عنوان کارگزار وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و ارائه سیاست‌های حمایتی از بخش خصوصی برای همگانی کردن کاربرد فناوری اطلاعات.

۳-۵-۴ سازمان فضایی ایران

مدیریت توسعه فناوری‌های فضایی و استفاده صلح‌آمیز از جو زمین به عهده سازمان فضایی ایران می‌باشد. پرتاب چند ماهواره و کاوشگر فضایی از جمله فعالیت‌های مهم این مؤسسه ایرانی تاکنون بوده است.

۳-۵-۵ شرکت ارتباطات زیرساخت

شرکت ارتباطات زیرساخت، یکی از شرکت‌های زیرمجموعه وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات است که در زمینه تأمین زیرساخت‌های ارتباطی مخابرات ایران فعالیت دارد. این شرکت به عنوان متولی بستر اصلی ارتباطات مخابراتی کشور و کارگزار وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، وظیفه برقراری ارتباط بین اپراتورهای مخابراتی را در شبکه اصلی بر عهده دارد. این شرکت ترافیک صوت، تصویر و داده را در محیطی امن و کنترل شده بین شهرها و استان‌ها تا سطح بین‌المللی مدیریت می‌کند.

۳-۵-۶ پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات)

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات) ایران، یکی از قدیمی‌ترین نهادهای پژوهشی در حوزه فناوری اطلاعات و مغز متفکر وزارت ارتباطات در این حوزه می‌باشد. از مأموریت‌های

اصلی این پژوهشگاه، نهادینه کردن رشد و ارتقای دانش و فناوری مخابراتی کشور با بسترسازی و برنامه‌ریزی خردمندانه و هم‌راستا با اولویت‌های کشور می‌باشد.

۳-۵-۷ اتحادیه بین‌المللی مخابرات

اتحادیه بین‌المللی مخابرات^۱ یک سازمان بین‌المللی تخصصی وابسته به سازمان ملل متحد و فعال در حوزه فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی (ICT) است. این اتحادیه وظیفه قانون‌گذاری و مدیریت فضای فرکانسی، مدارهای ماهواره‌ای، تدوین استانداردهای تبادل داده و همچنین کمک به رشد و توسعه ارتباطات در سراسر جهان را بر عهده دارد. مقر اصلی این سازمان، در ژنو سوئیس می‌باشد. در سال ۱۸۶۵ میلادی و پس از اختراع تلگراف، بیست کشور اروپایی در پاریس نهادی با عنوان اتحادیه بین‌المللی تلگراف تأسیس کردند که در آن اولین مقررات بین‌المللی ارتباطات راه دور (مخابرات) به تصویب رسید. این اتحادیه بعدها در سال ۱۹۳۴ به اتحادیه بین‌المللی ارتباطات راه دور یا ITU تغییر نام داد. موسسه ITU در سال ۱۹۴۷ میلادی به یکی از سازمان‌های تخصصی وابسته به سازمان ملل متحد تبدیل شد.

^۱. International Telecommunication Union or ITU

مسائل فصل سوم

- ۳-۱- مهندسی مخابرات را تعریف کنید.
- ۳-۲- از مبدل با چه هدفی در سامانه‌های مخابراتی استفاده می‌شود؟
- ۳-۳- گرایش‌های اصلی مهندسی مخابرات را نام برده و مختصراً در مورد هر یک توضیح دهید. به نظر شما آیا می‌توان حیطه‌ی کاری این گرایش‌ها را کاملاً از یکدیگر تفکیک نمود؟ توضیح دهید.
- ۳-۴- پیشرفت‌های فنی زیر را به ترتیب تاریخی مرتب کنید.
الف) ساخت ریزپردازنده، ب) تلفن، ج) تلگراف، د) تلفن همراه، ه) راه‌اندازی آرپانت، و) پخش تلویزیونی، ز) ارتباط رادیویی، ح) مخابره ماهواره‌ای و ط) IMS.
- ۳-۵- اجزای یک سیستم مخابراتی را تشریح کنید.
- ۳-۶- منظور از پهنای باند چیست؟ آیا می‌توان گفت اگر پهنای باند بیشتر باشد، سرعت انتقال نیز بالاتر است؟
- ۳-۷- مدولاسیون به چه منظور انجام می‌شود؟
- ۳-۸- شبکه‌ی دسترسی و شبکه‌ی انتقال را تشریح کنید.
- ۳-۹- تحقیق کنید که چرا برای اتصال به اینترنت بر روی خطوط تلفن (زوج سیم مسی)، به مودم نیاز است.
- ۳-۱۰- از دید کاربر تفاوت نسل‌های مختلف موبایل در چیست؟
- ۳-۱۱- شباهت‌ها و تفاوت‌های اینترنت و اینترنت را ذکر کنید.
- ۳-۱۲- نمونه کاربردهای سرویس VPN/MPLS را بیان کنید.
- ۳-۱۳- شبکه‌ی هوشمند چیست؟
- ۳-۱۴- اهمیت IMS، در چه مواردی می‌باشد؟
- ۳-۱۵- هر کدام از وظایف زیر، به کدام سازمان در کشور ما مربوط است.
الف) مدیریت و کنترل فضای فرکانسی کشور؛
ب) ساماندهی امور مربوط به امنیت فضای تبادل اطلاعات، نرم‌افزار و سخت‌افزار؛
ج) حمل ترافیک صوت، تصویر و داده بین شهری، بین استانی و بین‌الملل؛
د) مدیریت فعالیت‌های حاکمیتی توسعه فناوری فضایی؛
- ۳-۱۶- زیرمجموعه‌های وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات را نام ببرید.

فصل ۴

گرایش کنترل

سیر انقلاب صنعتی در جهان نشان می‌دهد که این انقلاب، در درجه نخست مدیون پیشرفت قابل توجه در ابزارهای مکانیکی و نحوه استفاده از آنها بوده است. از این رو در ابتدا، واژه مهندسی تنها برای طراحی و ساخت ابزارهای مکانیکی استفاده می‌شد. بعدها با ابداع مدارهای الکتریکی و بکارگیری آنها در دستگاه‌های مکانیکی، به تدریج از حجم این دستگاه‌ها کاسته شد و کارآیی آنها به میزان زیادی افزایش یافت. هدف اصلی در استفاده از تجهیزات الکتریکی در دستگاه‌های مکانیکی، اجرای خودکار فرمان‌ها و کنترل آنها بوده است. لذا تا مدت‌های طولانی، مهندسی برق یکی از شاخه‌های جانبی مهندسی مکانیک به شمار می‌رفت و الکترومکانیک نامیده می‌شد. با رشد و پیشرفت چشم‌گیر مهندسی برق در چند دهه اخیر، این رشته راه خود را از مهندسی مکانیک جدا نموده و هم‌اینک به‌عنوان یکی از زمینه‌های اصلی در صنعت به شمار می‌رود. به جرأت می‌توان گفت که انقلاب صنعتی در یک قرن پیشین، بیشتر مدیون پیشرفت‌های همه‌جانبه در مهندسی برق بوده است. مهندسی برق، به چهار گرایش اصلی تقسیم می‌شود که مهندسی کنترل^۱، یکی از آنهاست. این گرایش، چنانکه از نامش پیداست، به مدل‌سازی و کنترل سیستم‌ها و اصلاح رفتار آنها می‌پردازد. از اهداف اصلی در طراحی و ساخت هر سامانه‌ای، امکان کنترل و تغییر رفتار آن به‌منظور دستیابی به پاسخ مطلوب است. مثال‌های فراوانی از کاربرد مهندسی کنترل در صنعت و طبیعت وجود دارند. از جمله این کاربردها می‌توان به کنترل دمای ذوب فلزات در کوره، کنترل سرعت و مسیر حرکت یک جسم پرنده و کنترل رفتار یک موجود زنده اشاره نمود. از مبانی علم کنترل، مدل‌سازی

^۱. Control Engineering

و شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها و سپس طراحی کنترل‌کننده برای آنها می‌باشد. سیستم تحت کنترل می‌تواند الکتریکی، مکانیکی، عمرانی، شیمیایی و یا حتی اقتصادی باشد. در واقع، مفاهیم ریاضی مطرح‌شده در مهندسی کنترل بنیادین و فراگیر بوده و محدود به علم خاصی نمی‌شوند. به‌عنوان مثال، از مباحث داغ در مهندسی عمران، مقاوم‌سازی و کنترل رفتار ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌باشد. این مبحث عمرانی به‌طور مستقیم با مهندسی کنترل در ارتباط است. واضح است که یک مهندس کنترل در درجه نخست باید با مبانی علوم مختلف آشنا باشد تا بتواند هر سامانه‌ای را کنترل نماید. لذا با وجود ارتباط زیاد مهندسی کنترل با رشته برق، گستره آن محدود به این رشته نمی‌شود و سایر علوم را نیز در بر می‌گیرد. هدف از طراحی کنترل‌کننده، واداشتن سیستم به بروز رفتار مطلوب و مطابق با معیارهای از پیش تعیین شده است. این رفتار می‌تواند شامل زمان، مکان، سرعت، دقت و مصرف سوخت بهینه باشد.

۴-۱ پیشینه تاریخی

تلاش‌های اولیه بشر برای درک مفهوم زمان و تعیین دقیق آن در طی شبانه‌روز، از اولین اقدامات وی برای طراحی عملی کنترل‌کننده‌ها بودند که در نهایت به ساخت «ساعت‌های آبی» منجر شدند. اولین ساعت‌های آبی، توسط یونانی‌ها و مصری‌های باستان و در حدود دو قرن پیش از میلاد مسیح ساخته شدند و تا قرن هفده میلادی کاربرد داشتند. از زمان ساخت ساعت‌های اولین آبی تا قرن‌ها بعد، پیاده‌سازی یک سیستم کنترلی مناسب که بتواند سطح روغن را در داخل چراغ‌های روشنایی تنظیم نماید مورد توجه بوده است. این موارد نشان می‌دهند که مهندسی کنترل از هزاران سال پیش و متناسب با نیاز بشر در هر زمان، وجود داشته‌اند. با وقوع انقلاب صنعتی و ساخت کوره‌ها، موتورهای بخار و صدها مورد مشابه دیگر، به تدریج مهندسی کنترل جایگاه ویژه‌ای در صنعت پیدا نمود. در عمل، امکان کنترل چنین سیستم‌هایی با استفاده از اصول ابتدایی کنترل وجود نداشت و پیشرفت چشمگیر و همه‌جانبه مهندسی کنترل را می‌طلبید. لذا مطالعات و آزمایش‌های گسترده دانشمندان ادامه یافت و به ساخت کنترل‌کننده‌های پیشرفته و با کارآیی بالا منجر گردید. در سال ۱۸۶۸ میلادی، جیمز ماکسول موفق شد تا ناپایداری سیستم تنظیم‌کننده موتورهای بخار را با استفاده از معادلات دیفرانسیل تشریح کند. این موفقیت، نقش بنیادین مدل‌ها و روش‌های ریاضی را به‌منظور توصیف فرآیندهای پیچیده طبیعی، نشان داد و آغاز عصر جدید مهندسی

کنترل را بر مبنای مدل‌ها و تئوری‌های ریاضی رقم زد. از یک قرن پیش تاکنون، مدل‌های ریاضی بشر را قادر ساخته اند تا سازوکار عملکرد دستگاه‌هایی به مراتب پیچیده‌تر از تنظیم‌کننده موتور بخار را تشریح نموده و به دقت کنترل کند. از گام‌های اصلی در پیشرفت مهندسی کنترل در چند دهه اخیر، می‌توان به توسعه تئوری‌های کنترل بهینه در دهه ۱۹۵۰ میلادی و معرفی کنترل‌کننده‌های مقاوم و تطبیقی در دهه ۱۹۸۰ اشاره نمود. این پیشرفت‌ها، انجام فرآیندهای شیمیایی را به شکل کارآمدتر ممکن نموده و منجر به ساخت سفینه‌های فضایی، ماهواره‌ها و هواپیماهای پیشرفته شده اند.

اولین تجربه موفق در پیاده‌سازی کامل یک سیستم کنترل کاملاً خودکار، ساخت کنترل‌کننده توسط ایرانی‌ها برای تنظیم عملکرد آسیاب‌های بادی در اوایل قرن هفتم میلادی بوده است. دو سیستم کنترل مجزا، عملکرد این آسیاب‌ها را کنترل می‌کردند. کنترل‌کننده اول، مسئول همراستا نمودن پره‌های آسیاب با جهت باد بود تا از حداکثر نیروی باد استفاده شود و کنترل‌کننده دوم، میزان گندم ورودی به آسیاب را بر مبنای میزان انرژی موجود تنظیم می‌کرد. هر دو سیستم به صورت کاملاً خودکار کار می‌کردند و نیاز به حضور کارگر نداشتند. این آسیاب‌ها در اول قرن دوازدهم میلادی وارد اروپا شدند و تا قرن‌ها بعد کاربرد داشتند.

۴-۲ گرایش کنترل در دانشگاه‌های ایران

در مقطع کارشناسی، مهندسی برق گرایش کنترل شامل ۱۴ واحد تخصصی، ۲۳ واحد تخصصی الزامی و ۶ واحد تخصصی انتخابی است که باید قبل از فارغ التحصیلی گذرانده شوند. اصول اولیه مهندسی کنترل در این مقطع، در درس کنترل خطی مطالعه می‌شوند. بررسی پایداری سیستم‌ها و نحوه طراحی کنترل‌کننده مناسب برای آنها، از مباحث اصلی کنترل خطی هستند. اما قبل از مطالعه اصول مورد نظر، آشنایی با نحوه تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها و سیستم‌ها ضروری است که در درسی با همین عنوان، آموزش داده می‌شوند. در هر دو درس، مدل‌سازی ریاضی دستگاه‌ها و نحوه تجزیه و تحلیل آنها در دو حوزه زمان و فرکانس نیز بررسی خواهند شد. در مجموع، مهم‌ترین دروس مقطع کارشناسی گرایش کنترل به قرار زیر هستند.

۱- **کنترل خطی:** روش‌های کنترل فرآیندها و سیستم‌ها را با استفاده از روابط ریاضی شرح می‌دهد.

۲- کنترل صنعتی: کنترل صنعتی از جمله دروس تخصصی و مهم گرایش کنترل محسوب شده و به بررسی نحوه بکارگرفتن روابط ریاضی در هر پروسه صنعتی می‌پردازد. تمرکز اصلی این درس، بر روی راهکارهای عملی کنترل سامانه‌ها و نحوه برداشت اطلاعات از آنها با استفاده از حس‌گرهای مختلف است. مطالب این درس شامل آشنایی با نحوه کنترل غلظت، سطح، ارتفاع و دبی ورودی و خروجی مخازن حاوی مایعات (مانند مخازن موجود در صنایع و پالایشگاه‌ها)، بررسی ساختار انواع کنترل‌کننده‌های صنعتی، مطالعه سامانه‌های کنترل دما و رطوبت و در نهایت سیستم‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی می‌باشد.

۳- کنترل مدرن: آشنایی کلی با مفاهیم کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری سیستم‌ها و به خصوص سیستم‌های دارای پس‌خور^۱، از اهداف اصلی این درس می‌باشند. برای نیل به این هدف، نحوه کنترل فرآیندهای شیمیایی و موارد مشابه بررسی شده و روش‌های کنترل هر سیستم واقعی به شکلی جامع‌تری بحث می‌شود. مطالب این درس بیشتر جنبه نظری دارند و دیدی تقریباً ریاضی به حل مسائل مهندسی کنترل می‌دهند.

۴- کنترل دیجیتال و آزمایشگاه: چگونگی استفاده از رایانه به منظور کنترل فرآیندها را آموزش می‌دهند. از زمان ظهور رایانه‌های دیجیتال در دهه ۱۹۶۰، کنترل دیجیتال نقش مهمی در افزایش تولید، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات صنعتی داشته است. با پیشرفت‌هایی که در دو دهه اخیر در زمینه تولید ریزپردازنده‌های کارآمد صورت گرفته است، در بسیاری موارد کنترل دیجیتال جایگزین کنترل آنالوگ شده و دقت کنترل فرآیندها را افزایش داده است.

۵- ابزار دقیق و آزمایشگاه: ابزار دقیق شامل ثبت و اندازه‌گیری دقیق کمیت‌های فیزیکی و استفاده از تجهیزات لازم به منظور نمایش، تبدیل و انتقال این کمیت‌ها می‌باشد. در این درس‌ها، دانشجویان به شکل نظری و عملی با سامانه‌های ابزار دقیق و کنترل‌کننده‌های صنعتی آشنا می‌شوند.

۶- ریزپردازنده و آزمایشگاه: جزئیات کنترل خودکار سیستم‌ها و فرآیندها به کمک ریزپردازنده‌ها و با برنامه‌ریزی آنها را آموزش می‌دهد.

۷- مبانی تحقیق در عملیات: مباحث مهندسی، ارتباط مستقیم با سود و زیان اقتصادی دارند. هدف اصلی درس مبانی تحقیق در عملیات، آشنایی با چگونگی برنامه‌ریزی فرآیندها است که یادگیری

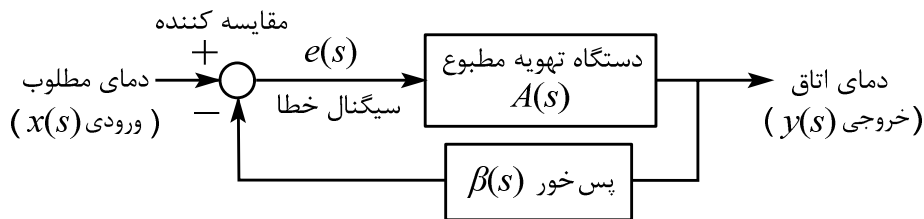
¹. Feedback systems

آنها، ضروری برای هر مهندسی می‌باشند. به کمک این مفاهیم می‌توان با کمترین امکانات، هزینه را به حداقل و سود را به حداکثر رسانید.

۳-۴ مثال‌هایی از کاربردهای گرایش کنترل

کنترل کننده‌ها وظیفه کنترل متغیرهای اساسی سیستم را به منظور دستیابی به یک سری اهداف و ملاک‌های مشخص، بر عهده دارند. این ملاک‌ها می‌توانند سرعت، دما، زاویه چرخش و موارد بی‌شمار دیگر باشند. کنترل زمان اوج‌گیری یک هواپیما را به عنوان مثال در نظر بگیرید. زاویه بال‌های هواپیما و میزان سوخت تزریقی به موتور بایستی به دقت توسط روابط ریاضی محاسبه شود و بر مبنای آنها، کنترل کننده کارآمدی طراحی شود که بتواند پایداری را حفظ کند و لرزش‌های هواپیما را در برابر اثرات نامطلوبی همچون فشار هوا، به حداقل برساند.

یکی از مفاهیم پرکاربرد در مهندسی کنترل، مفهوم پس‌خور یا فیدبک است. پس‌خور به معنای اندازه‌گیری خروجی سیستم و مقایسه بخشی از آن با ورودی است تا بر مبنای آن، سیستم بتواند رفتار خروجی را اصلاح نماید. در یک سیستم تهویه مطبوع، به عنوان مثال، حس‌گر دما خروجی (دمای محیط) را اندازه می‌گیرد و با مقایسه آن با دمای مطلوب، تصمیم می‌گیرد که چه موقع عکس‌العمل نشان داده و از کاهش یا افزایش بیش از حد دما جلوگیری کند. شکل ۴-۱ نمایش بلوکی این سیستم فیدبک دار را به تصویر می‌کشد. در این روش نمایش، نسبت خروجی به ورودی هر بلوک با تابعی در درون آن نوشته می‌شود. دمای مطلوب $x(s)$ ، توسط کاربر به سیستم داده شده و دمای محیط $y(s)$ ، توسط حس‌گر اندازه‌گیری می‌گردد. با فیدبک شدن ضریب $\beta(s)$ از دمای خروجی، سیگنال $\beta(s)y(s)$ از دمای مطلوب $x(s)$ کم شده (فیدبک از نوع منفی) و از این طریق، عملاً دمای محیط با دمای مطلوب مقایسه می‌گردد. اگر فرض کنیم که $\beta(s) = 1$ باشد، به ازای دمای مطلوب و دمای محیط یکسان، خروجی مقایسه کننده که همان سیگنال خطای $e(s)$ است صفر خواهد شد. لذا سیستم در وضعیت فعلی باقی می‌ماند و عکس‌العملی از خود نشان نمی‌دهد. حال اگر $x(s)$ و $y(s)$ متفاوت باشند، سیگنال خطا در بهره $A(s)$ ضرب شده و با روشن کردن کولر یا بخاری، دمای محیط $y(s)$ را متناسب با اختلاف دمایی تغییر می‌دهد. از لحاظ ریاضی، رابطه ورودی - خروجی این سیستم فیدبک دار را می‌توان به صورت زیر بدست آورد.



شکل ۴-۱ نمایش بلوکی یک سیستم تنظیم دما با پس خور منفی.

$$e(s) = x(s) - \beta(s)y(s) \quad (۴-۱)$$

$$y(s) = A(s)e(s) = A(s)x(s) - A(s)\beta(s)y(s) \quad (۴-۲)$$

$$\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{A(s)}{1 + A(s)\beta(s)} \quad (۴-۳)$$

رابطه (۴-۳) نشان می‌دهد که به ازای $\beta(s) = 1$ ، اگر $A(s)$ به اندازه کافی بزرگ و حساسیت دستگاه نسبت به $e(s)$ بالا باشد، $y(s) \approx x(s)$ شده و دمای محیط با دمای مطلوب برابر خواهد شد. با استفاده از سامانه‌های فیدبک دار می‌توان بسیاری از فرایندهای صنعتی را به شکل خودکار کنترل کرد. اتوماسیون صنعتی، بخشی از علم کنترل است که بر پایه فیدبک، وظیفه خودکارسازی سیستم‌های صنعتی را بر عهده دارد.

به کمک فیدبک می‌توان به سامانه‌هایی بهتر، فرآورده‌هایی ارزان‌قیمت‌تر، محصول بیشتر و با کیفیت بهتر دست یافت. امکان خودکارسازی فرآیندهای تکراری و خسته‌کننده نیز با استفاده از فیدبک فراهم می‌شود. بسته به نوع سیستم، اجزای سیستم کنترل‌کننده می‌توانند الکتریکی، مکانیکی و یا حتی شیمیایی باشند. موشک هدایت‌شونده شکل ۴-۲ را در نظر بگیرید. هدف از طراحی سیستم کنترل‌کننده فیدبک دار برای این موشک، کنترل و اصلاح زاویه حمله موشک به هدف (خروجی) از طریق اندازه‌گیری زاویه فعلی با استفاده از رادار است. به عنوان مثالی دیگر، سیستم کنترل‌کننده غیرفعال موجود در ساختمان‌های بلند مرتبه، لرزش کنونی ساختمان را اندازه‌گیری می‌کند و بر مبنای آن نیرویی در جهت عکس به ساختمان اعمال نموده و لرزش‌ها را به حداقل می‌رساند. مثال‌های بی‌شمار دیگری از کاربرد کنترل‌کننده-

۸۴ / آشنایی با مهندسی برق

های فیدبک‌دار در صنعت وجود دارند. کنترل مسیر حرکت یک شاتل فضایی (شکل ۴-۳) و تطابق زاویه توربین‌های بادی با جهت باد (شکل ۴-۴)، از این دست هستند.



شکل ۴-۲ ردیابی و کنترل موشک هدایت‌شونده توسط رادار.



شکل ۴-۳ نقش مهندسی کنترل در ارسال موشک به فضا.



شکل ۴-۴ تطابق زاویه توربین‌های بادی با جهت وزش باد.

۴-۴ اساس کار کنترل‌کننده‌ها

قبل از آغاز انقلاب صنعتی در تولید قطعات نیمه‌هادی، اغلب کنترل‌کننده‌ها توسط مهندسان مکانیک و به کمک روش‌های پنیوماتیکی و هیدرولیکی پیاده‌سازی می‌شدند. اگرچه برخی از این سامانه‌ها همچنان در صنعت کاربرد دارند اما بیشتر آنها با کنترل‌کننده‌های الکترونیکی امروزی، جایگزین شده‌اند. در مجموع کنترل‌کننده‌های صنعتی، تنظیم خروجی را در سه مرحله انجام می‌دهند.

۱- اندازه‌گیری؛

۲- پردازش مقادیر اندازه‌گیری شده؛

۳- ارسال دستورالعمل مناسب به تجهیزات تحت کنترل برای بروز عکس‌العمل مناسب.

بسته به سیگنال تحت کنترل، اندازه‌گیری در سیستم‌های صنعتی از طریق حس گرهای فشار، دما، ارتفاع، حس گرهای بار^۱، بویایی و موارد مشابه انجام می‌شود. در قسمت بعد، نحوه عملکرد برخی از این حس گرها را به طور خلاصه شرح می‌دهیم.

^۱. Load cell

۴-۵ حس گرهای پرکاربرد در مهندسی کنترل

در مهندسی کنترل، حس گر^۱ یا مبدل^۲ به ابزاری اطلاق می شود که یک کمیت فیزیکی را به یک سیگنال الکتریکی، مکانیکی یا صورت های دیگر قابل فهم برای دستگاهها مبدل کند. در طی یک قرن گذشته، شاهد رشد بی سابقه ای در شمار محصولات و خدماتی بوده ایم که از حس گر به منظور اندازه گیری و فیدبک استفاده می کنند. حس گرها در بسیاری از کاربردهای امروزی، از پیش بینی وضع هوا گرفته تا پزشکی و ایمنی کاربرد دارند. دماسنج جیوه ای اندازه گیری دما را به شکل انقباض و انبساط جیوه در لوله شیشه ای مدرج انجام می دهد. ترموکوپل، دما را به یک ولتاژ الکتریکی قابل فهم برای مدارهای الکترونیکی تبدیل می کند. اندازه گیری وزن و تعیین شماره طبقه در آسانسورها، توسط حس گرهای بار انجام می شود. همه دستگاه های اندازه گیری دارای حس گرهای متنوعی هستند که آنها را قادر می سازد تا کمیت های فیزیکی مثل دما، فشار و ارتفاع را بسنجند. در برخی از این کاربردها، به سختی می توان از وجود حس گر در سیستم مطلع شد. از این دسته می توان به وجود شتاب سنج در اتومبیل به منظور تعیین شتاب و فعال نمودن کیسه هوا در حین تصادف اشاره نمود.

از دید کاربردی، حس گر ابزاری است که با اندازه گیری تغییرات یک محرک خارجی، اطلاعات مورد نیاز را در اختیار سیستم قرار می دهد. حساسیت حس گر برابر با نسبت تغییرات خروجی آن به تغییرات کمیت اندازه گیری شده است. برای مثال، اگر به ازای یک درجه سانتی گراد تغییر دما، سطح جیوه دماسنج نیز یک سانتی متر تغییر کند، میزان حساسیت دماسنج یک سانتی متر بر درجه سانتی گراد می باشد. واضح است که حس گرهایی که تغییرات خیلی کوچک را اندازه می گیرند، باید حساسیت بالایی نیز داشته باشند. در عمل، حس گرها روی چیزی که اندازه گیری می کنند فشار نیز وارد می کنند. برای مثال وقتی دماسنج سرد را در یک فنجان آب داغ فروبریم، آب کمی خنک می شود در حالی که دماسنج گرم می گردد. لذا حس گرها باید طوری طراحی شوند که تأثیر اندکی بر روی آنچه اندازه گیری می کنند داشته باشند. یکی از راه های نیل به این هدف، ساخت حس گرهایی با ابعاد کوچک تر است. پیشرفت فناوری این اجازه را به ما می دهد که بتوانیم حس گرهایی کارآمدتر و در اندازه کوچکتر بسازیم.

ویژگی های یک حس گر خوب عبارت از موارد زیر است.

^۱. Sensor

^۲. Transducer

- ۱- خطی است به این معنا که خروجی آن همواره با کمیت اندازه گیری شده، تناسب مستقیم و رابطه خطی دارد؛
- ۲- به تغییرات کمیت تحت اندازه گیری، حساسیت بالایی دارد؛
- ۳- به هیچ کمیت فیزیکی دیگری غیر از کمیت در حال اندازه گیری، حساس نیست؛
- ۴- روی خاصیت در حال اندازه گیری اثر چندانی ندارد.

۴-۵-۱ حس گرهای دما^۱

از نقطه نظرهای اندازه گیری، ثبت و نمایش دما، بین حس گرهای دمایی تفاوت های عمده ای وجود دارد. از یک دماسنج جیوه ای می توان برای اندازه گیری دمای مایع داخل ظرف استفاده کرد در حالی که این وسیله برای انتقال دمای مایع اندازه گیری شده به مدارهای الکترونیکی مناسب نیست. در این حالت به یک حس گر دمایی مناسب همچون ترموکوپل نیاز است. متقابلاً، ترموکوپل به تنهایی نمی تواند برای نشان دادن دمای محیط به کار گرفته شود و به یک نمایش گر (الکترونیکی) مناسب به این منظور نیاز دارد. از لحاظ نحوه اندازه گیری دما، حس گرهای دمایی به دو دسته تماسی و غیر تماسی تقسیم می شوند.

۱- **حس گرهای تماسی^۲**: این حس گر برای اندازه گیری غیر مستقیم دمای محیط، دمای خودش را می سنجد. با چسباندن آن به شیء مورد نظر و یا با قرار دادن آن در مایع تحت اندازه گیری، به تدریج جریان گرمایی^۳ بین محیط و حس گر متوقف می شود و تعادل گرمایی بین آن دو ایجاد می گردد. در این حالت، دمای حس گر همان دمای محیط خواهد بود.

۲- **حس گرهای غیر تماسی**: آنچه در حس گرهای غیر تماسی سنجیده می شود، توان حرارتی مادون قرمز یا نور متصاعد شده از سطح جسم با مساحت و حجم مشخص می باشد. هم اکنون، روش های پیشرفته تصویربرداری از اجسام وجود دارند که ما را قادر می سازند که دمای اجزای مختلف آنها را با تجزیه و تحلیل تصاویر اندازه بگیریم. چنین دستگاه هایی در زمره حس گرهای حرارتی غیر تماسی قرار دارند.

^۱. Thermo-sensors

^۲. Contact sensors

^۳. Heat flow

حس گرهای تماسی، تنوع و فراوانی بیشتری نسبت به نوع غیر تماسی دارند. این حس گرها شامل انواع ترموکوپل ها، مقاومتهای متغیر با دما و نیمه هادی های حساس به دما مثل دیودها، ترانزیستورها و تراشه های اندازه گیر دما هستند. فیوزهای حساس به دما (ترمو فیوزها) و محافظ های حرارتی نیمه هادی نیز به نوعی در دسته حس گرهای تماسی قرار دارند. در سامانه های الکترونیکی پیشرفته، ترموفیوزها وظیفه محافظت از ریزپردازنده ها و سایر مدارهای مجتمع را با افزایش بیش از حد دما دارند. حس گرهای میکرو الکترومکانیکی^۱ دمایی و حس گرهای حرارتی موج سطحی^۲ (SAW) نیز از انواع حس گرهای تماسی پیشرفته هستند که کاربرد زیادی در اندازه گیری و کنترل نامحسوس دما دارند.

حس گرهای غیر تماسی شامل حس گرهای دمایی مادون قرمز^۳ (IR)، لیزری، تصویر بردارهای حرارتی و انواع طیف سنج های نوری می شوند. این دسته از حس گرها اندازه گیری دما را بر مبنای طیف منتشر شده از اجسام انجام می دهند. هرچند فراگیری حس گرهای غیر تماسی به اندازه حس گرهای تماسی نیست اما مزیت بارز آنها مواقعی است که اندازه گیری دما تنها از راه دور ممکن بوده و استفاده از انواع حس گرهای تماسی در محل ممکن نباشد. در صنایع ریخته گری فولاد با کوره های بزرگ مواد مذاب سروکار داریم. در این موارد، اگرچه استفاده از ترموکوپل هایی با کابل های ارتباطی بسیار مقاوم در برابر دما ممکن است اما سرویس دهی، نگهداری و تعمیر چنین سامانه ای بسیار مشکل تر و گران تر از یک سیستم مبتنی بر حس گر غیر تماسی می باشد.

۴-۵-۲ حس گرهای بویایی^۴

معمولاً از حس گرهای حساس به گاز برای این منظور استفاده می شود. این حس گرها به منبع تغذیه وصل شده و پس از گرم شدن، حساسیت لازم را نسبت به وجود یک گاز مشخص در محیط بدست می آورند. برای تنظیم حس گر، ابتدا مقدار ناچیزی از بو یا عطری که حس گر به آن حساس است به محیط تزریق می شود تا عکس العمل حس گر در مقابل آن سنجیده شود. پاسخ مورد نظر، به عنوان مرجعی برای مقایسه در استفاده های بعدی استفاده می شود. حس گرهای بویایی پیشرفته مرکب از چندین حس گر

^۱. Thermo-MEMS

^۲. Surface Acoustic Wave

^۳. Infrared

^۴. Smell sensors

حساس به گازهای مختلف به صورت همزمان هستند. پاسخ دریافتی از همه حس گرها، به یک پردازشگر الکترونیکی مرکزی منتقل می شود تا پس از پردازش، نوع و میزان گازهای موجود در محیط مشخص شوند. نکته مهم درباره نحوه کار همگی این حس گرها آن است که نمی توانند میزان گاز موجود در محیط را به شکل مطلق اندازه گیری کنند. این حس گرها تنها با سنجش اختلاف مقدار اندازه گیری شده با مقدار مرجع، موفق به تشخیص میزان گاز موجود در محیط می شوند.

۴-۵-۳ حس گرهای رطوبت

میزان رطوبت هوا، تأثیر فراوانی بر نحوه انجام فرآیندهایی دارد که در اتمسفر هوا انجام می شوند. لذا در بسیاری موارد، اندازه گیری رطوبت هوا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در تعیین غلظت بخار آب موجود در گازها، باید بین رطوبت مطلق، رطوبت اشباع و رطوبت نسبی تمایز قائل شویم.

الف) رطوبت مطلق: میزان بخار آب موجود در واحد حجم گاز است و به صورت گرم بر مترمکعب اندازه گیری می شود.

ب) رطوبت اشباع: حداکثر بخار آب موجود در واحد حجم گاز است و بر مبنای گرم بر مترمکعب اندازه گیری می شود.

ج) رطوبت نسبی: نسبت رطوبت مطلق به رطوبت اشباع، برابر با رطوبت نسبی است و عددی بین صفر تا یک می باشد.

حس گر لیتیوم کلراید (LiCl)، یک حس گر رطوبت معروف موجود در بازار می باشد. از طریق دو الکترود، یک جریان الکتریکی متناوب از محلول حاوی LiCl عبور داده می شود تا آن را گرم کند. با این کار، به سرعت تمامی آب موجود در محلول بخار می شود. در نتیجه هدایت محلول کاهش یافته و جریان الکتریکی بین الکترودها کاهش می یابد. با کاهش جریان و در نتیجه کاهش دما، محلول قادر است که مجدداً بخار آب موجود در هوا را جذب نماید. اما جذب بخار آب، هدایت الکتریکی محلول را مجدداً افزایش داده و با عبور جریان الکتریکی بیشتر، رطوبت بیشتری از داخل آن تبخیر می شود. در نتیجه دمای محلول عملاً در یک حالت تعادل بین اختلاف پتانسیل الکتریکی دو الکترود و انرژی گرمایی مورد نیاز برای تبخیر آب حفظ می شود. این تعادل، به طور انحصاری وابسته به فشار بخار آب موجود در هوا است و

لذا تابعی از رطوبت مطلق می باشد. در حالت تعادل، دمای محلول توسط یک ترموکوپل دقیق خوانده شده و به مدارهای الکترونیکی ارسال می شود. به این روش، اندازه گیری رطوبت نسبی در بین ۱۵٪ تا ۹۰٪ و در دمای محیط بین صفر تا ۶۰ درجه، امکان پذیر است. زمان لازم برای اندازه گیری معمولاً در حد چند دقیقه است.

۴-۵-۴ حس گرهای بار

حس گر بار یا لودسل، یک نوع حس گر الکترونیکی است که به منظور اندازه گیری وزن یا نیرو و در ترازوها مورد استفاده قرار می گیرد. این حس گر، تغییرات وزن را به تغییرات ولتاژ متناسب با آن تبدیل نموده و نتیجه را به منظور انجام پردازش های بعدی به ریزپردازنده و یا نمایش گر منتقل می کند. حس گرهای بار، به کلاس های مختلفی تقسیم بندی می شوند. کلاس هر حس گر، بیانگر موارد مختلفی از جمله دقت و ظرفیت آن است. لودسل های مرغوب و دقیق، دارای یک استاندارد جهانی موسوم به OIML هستند که نشان دهنده کیفیت و دقت آنها می باشد. سنجش دقیق وزن به وسیله لودسل هایی که فاقد این استاندارد باشند، قابل اعتماد نیست. چندین پارامتر در شناسایی و مقایسه قابلیت لودسل ها با یکدیگر وجود دارند که از آن جمله می توان به

۱- حداکثر بار قابل تحمل،

۲- گستره و محدوده دمایی،

۳- گستره ولتاژ تحریک ورودی،

۴- حداقل وزن قابل اندازه گیری

اشاره نمود. لودسل ها بر اساس تغییر طول ناشی از وارد شدن بار به سطح آنها کار می کنند. این حس گرها غالباً فشار وارد شده از سوی جسم را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می کند و از این طریق، وزن دقیق جسم را مشخص می کنند. با توجه به نحوه عملکرد، حس گرهای بار به چهار دسته ۱- فشاری^۱، ۲- خمشی^۲، ۳- تک پایه^۱ و ۴- کششی تقسیم می شوند. شکل ۴-۵ چند نمونه از حس گرهای فشاری موجود در بازار را نمایش می دهد.

^۱. Compression

^۲. Shear beam

^۱. Single point



شکل ۴-۵ چند نمونه از حس گرهای بار فشاری.

۴-۶ روش‌های سنجش موقعیت و سرعت

موقعیت و سرعت دستگاه‌های دورانی همانند موتورها و ژنراتورها را به سه روش اندازه می‌گیرند.

۱- استفاده از دورسنج‌ها (تاکو ژنراتور)^۱؛

۲- استفاده از کد کننده‌ها (انکودر)^۲؛

۳- استفاده از تحلیل گرها^۳.

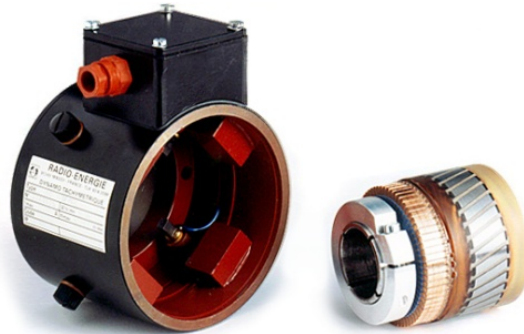
۴-۶-۱ تاکو ژنراتور

شکل ۴-۵ نمای خارجی یک دورسنج را همراه با چرخش گر درونی آن به تصویر می‌کشد. تاکوژنراتور در اصل یک مولد انرژی الکتریکی (ژنراتور) با آهنربای دائمی است که ولتاژ خروجی آن، با سرعت چرخش متناسب می‌باشد. ضریب وابستگی ولتاژ خروجی به سرعت تاکوژنراتور، معمولاً برحسب ولت بر هزار دور بیان می‌شود. سادگی، استحکام مکانیکی و قابلیت اندازه‌گیری مستقیم سرعت بدون نیاز به پردازش اضافی از مزایای تاکوژنراتور به شمار می‌روند؛ ولی متأسفانه ولتاژ خروجی تاکوژنراتور معمولاً ناپایدار بوده و حساسیت زیادی به نویز محیط دارد. علاوه بر این، به دلیل حساسیت بالای آهنربای دائمی به تغییرات دما، ولتاژ خروجی تاکوژنراتور در سرعت ثابت و به ازای دماهای مختلف یکسان نیست. هم‌اکنون، قیمت، استهلاک بالا و دقت محدود این وسیله کاربرد آن را در صنعت محدود نموده است.

^۱. Tacho-Generator

^۲. Encoder

^۳. Resolver



شکل ۴-۶ نمای از بیرون یک تاکو ژنراتور به همراه چرخش گر داخلی آن.

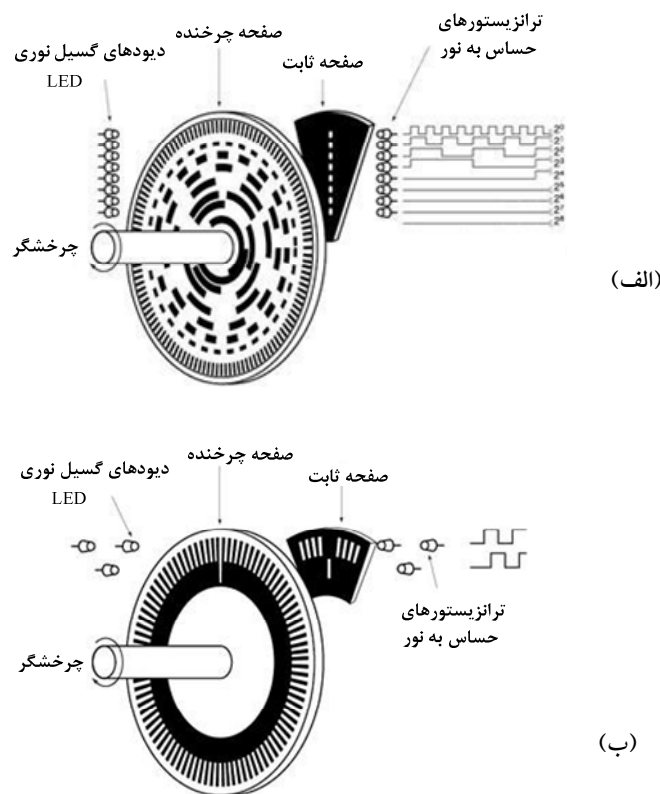
۴-۶-۲ کد کننده

به منظور تشخیص سرعت و موقعیت یک جسم دورانی، امروزه به شکل گسترده از کدکننده‌های دیجیتال استفاده می‌شود. این کدکننده‌ها دارای صفحه‌های مدور سوراخ‌داری هستند که به محور موتور متصل شده و همراه با آن می‌چرخند. نور از یک سمت به صفحه تابانده شده و در سمت دیگر توسط گیرنده‌های حساس به نور جذب می‌گردد. کدکننده‌های دیجیتال خود به دودسته مطلق^۱ و افزایشی^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. شکل ۴-۷ آرایش و اساس کار آنها را به تصویر می‌کشد.

با دقت در شکل ۴-۷-الف می‌توان اساس کار کدکننده مطلق را درک نمود. با ارسال نور (اغلب از نوع مادون قرمز) از طریق یک سری دیود گسیل نوری (LED) موازی و عبور دادن پرتوها از شکاف‌های تعبیه شده بر روی صفحه موجود بر روی چرخش گر، ترانزیستورهای حساس به نور در سمت دیگر پالس‌هایی تولید می‌کنند که در نهایت به شکل کدهای دیجیتال درمی‌آیند. در عمل به ازای هر موقعیت به خصوص چرخش گر، یک کد مشخص وجود دارد. با رمزگشایی از این کدها، می‌توان علاوه بر مکان، سرعت چرخش گر را نیز با سنجش نرخ تغییرات بر حسب زمان مشخص نمود. شکل ۴-۸ نمایی واقعی از یک کدکننده مطلق نصب شده بر روی یک چرخش گر را نمایش می‌دهد.

کدکننده افزایشی تنها قادر است که اندازه سرعت جسم دورانی را بسنجد. شکل ۴-۷-ب، آرایش

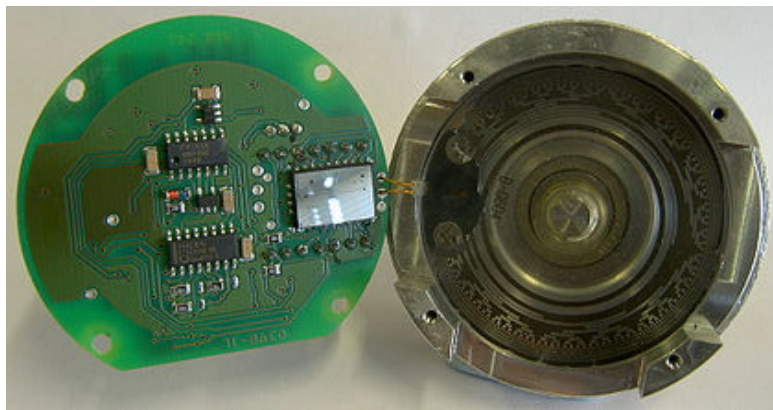
^۱. Absolute
^۲. Incremental



شکل ۴-۷ انواع کد کننده‌ها (الف) نوع مطلق و (ب) نوع افزایشی.

بیرونی این کد کننده را به تصویر می‌کشد. ساختار کد کننده مورد نظر، نسبتاً ساده‌تر از کد کننده نوع مطلق است ولی اصول کاری آنها مشابه می‌باشند. وجود شکاف‌های هم فاصله موجود بر روی صفحه چرخش گر باعث می‌شود که گیرنده‌های نوری، همواره پالس‌های نوری‌ای دریافت کنند که متناسب با سرعت می‌باشند. با در نظر گرفتن یک شیار اضافی در پایین شکاف‌های اصلی، این امکان وجود دارد که علاوه بر سرعت، جهت چرخش نیز مشخص شود. در عمل می‌توان گسیل کننده‌ها و حس گرهای نوری را با انواع مغناطیسی آنها جایگزین نمود. هزینه استفاده از سیستم مغناطیسی، ارزان‌تر از سیستم نوری است. باین حال به دلیل برخی محدودیت‌های فیزیکی، دقت و حداکثر تعداد دور قابل آشکارسازی توسط

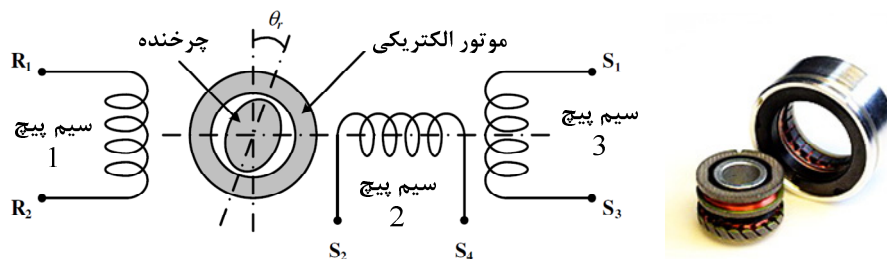
سیستم مغناطیسی پایین تر از سیستم نوری می باشد. لذا در جاهایی که هزینه حرف اول را می زند از سیستم مغناطیسی و در مواقعی که کارآیی اهمیت دارد از سیستم نوری استفاده می شود.



شکل ۴-۸ نمایی واقعی از یک کد کننده مطلق نصب شده بر روی یک چرخنده.

۴-۶-۳ تحلیلگر

تحلیلگر، یک حس گر مغناطیسی ارزان قیمت است که می تواند زاویه چرخش گر را با دقت پایین تری نسبت به کد کننده مطلق، اندازه بگیرد. این دستگاه در اصل یک ماشین مغناطیسی است که زاویه را بر مبنای وضعیت مغناطیسی چرخش گر با سه سیم پیچ نصب شده در اطراف آن مشخص می کند.



شکل ۴-۹ ظاهر و اصول کاری سرعت سنج از نوع تحلیلگر.

۷-۴ کنترل سرعت موتورهای الکتریکی

یکی از مسائل مهندسی مشترک بین دو گرایش کنترل و قدرت، کنترل سرعت و جهت چرخش موتورهای الکتریکی است. در این قسمت، کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم یا dc (موتورهایی که با ولتاژ از نوع مستقیم کار می کنند) و موتورهای جریان متناوب یا ac (موتورهایی که برای کار نیازمند ولتاژ ورودی متناوب سینوسی هستند) را بررسی می کنیم.

۷-۴-۱ کنترل دور موتورهای جریان مستقیم

مزیت اصلی موتورهای جریان مستقیم، امکان کنترل دقیق سرعت آنها است. از این روی، در کاربردهایی که به سرعت قابل تنظیم^۱ نیاز دارند از موتورهای dc استفاده می شود و با تنظیم ولتاژ تحریک آنها، سرعت کنترل می شود. مهم ترین معایب موتورهای dc، هزینه تعمیر و نگهداری بالا و بازده پایین تر نسبت به موتورهای ac هستند. با پیشرفت فناوری تولید قطعات الکترونیک قدرت و امکان کنترل بهتر موتورهای ac توسط آنها، امروزه در بسیاری کاربردها موتورهای جریان مستقیم با موتور ac معادل آنها جایگزین شده اند. در عین حال موتورهای dc همچنان در ماشین هایی همچون جرثقیل های غول پیکر کاربرد دارند.

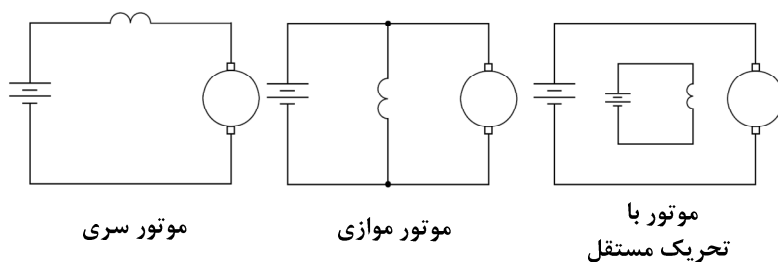
موتورهای جریان مستقیم، دارای یک سیم پیچ تحریک ثابت بر روی قسمت ثابت (استاتور) به منظور ایجاد میدان مغناطیسی و یک سیم پیچ متحرک بر روی قسمت متحرک (روتور) به منظور ایجاد گشتاور هستند. از دافعه و جاذبه متوالی این دو سیم پیچ، گشتاور لازم به منظور چرخش موتور بدست می آید. بسته به اینکه سیم پیچ های ثابت و متحرک از لحاظ الکتریکی چه وضعیتی با یکدیگر داشته باشند، موتورهای dc به سه دسته تحریک مستقل، موازی و سری تقسیم بندی می شوند. شکل ۴-۱۰ مدار معادل الکتریکی مربوط این سه دسته را نشان می دهد. شکل ۴-۱۱ مدار معادل الکتریکی موتور dc با تحریک مستقل را نمایش می دهد. با توجه به این مدل، معادلات مداری حاکم بر ساختار مورد نظر به قرار زیر هستند.

$$V_S = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \quad (4-4)$$

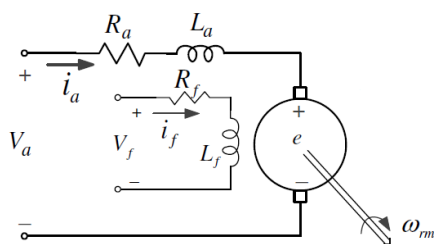
^۱. Adjustable speed drive

$$V_F = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (۵-۴)$$

$$e = (K_e L_f R_f i_f) \omega_{rm} \quad (۶-۴)$$



شکل ۴-۱۰ انواع موتورهای dc با توجه به وضعیت الکتریکی دو سیم پیچ روتور و استاتور.



شکل ۴-۱۱ مدار معادل موتور dc با تحریک مستقل.

در روابط بالا، R_a و L_a به ترتیب مقاومت و اندوکتانس سیم پیچ موتور، R_f و L_f مقاومت و اندوکتانس سیم پیچ تحریک و V_s و i_a و نیز V_F و i_f به ترتیب ولتاژها و جریانهای اعمال شده به دو سیم پیچ مذکور می باشند. ولتاژ e نیرو محرکه الکتریکی لازم به منظور چرخش موتور و ω_{rm} سرعت زاویه ای چرخش موتور است. رابطه (۶-۴) نشان می دهد که سرعت چرخش موتور، به طور مستقیم با جریان سیم پیچ تحریک (و لذا ولتاژ آن) در ارتباط است و می توان به سادگی با تغییر ولتاژ، ω_{rm} را کنترل نمود.

۴-۷-۲ کنترل دور موتورهای جریان متناوب

موتورهای جریان متناوب یا ac، دارای سه مزیت عمده نسبت به موتورهای جریان مستقیم هستند.

۱- **سبک بودن:** وزن این موتورها، معمولاً ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از موتورهای معادل dc با توان یکسان است.

۲- **ارزان بودن:** موتورهای ac ارزان‌تر از موتورهای dc هستند. لذا اغلب با آنها جایگزین می‌شوند.

۳- **مراقبت کمتر:** موتورهای ac، به مراقبت و سرویس‌دهی کمتری نسبت به نوع dc نیاز دارند. عیب اصلی موتورهای ac نسبت به dc، عدم امکان کنترل سرعت دقیق آنها می‌باشد. کنترل سرعت در این موتورها معمولاً پیچیده بوده و نیازمند یک الگوریتم کنترلی پیشرفته است. چنین الگوریتمی، باید توسط ریزپردازنده و با سرعت کلید زنی بالا انجام شود. همچنین در کاربردهایی که باید سرعت موتور متغیر باشد، موتورهای ac به کنترل همزمان فرکانس، ولتاژ و جریان ورودی نیاز دارند. مبدل‌های قدرت و کنترل‌کننده‌های ولتاژ قادرند که فرکانس، ولتاژ و جریان را به‌منظور برآورده کردن چنین نیازی کنترل کنند؛ هرچند که این قطعات نسبتاً گران‌قیمت هستند و به روش‌های پیشرفته کنترلی با فیدبک نیاز دارند. باوجود این معایب، مزیت استفاده از موتورهای ac به معایب آن غالب است.

یکی از راه‌های کنترل دور موتورهای ac، تغییر فرکانس ولتاژ ورودی است. به این منظور بایستی ابتدا با استفاده از مدارهای یکسوساز، ولتاژ متناوب را به مستقیم تبدیل نمود و سپس با استفاده از یک مبدل مناسب، ولتاژ مستقیم را به ولتاژ متناوب با فرکانس موردنظر تبدیل کرد. مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب، «اینورتر»^۱ نامیده می‌شوند. وظیفه آنها، تبدیل ولتاژ مستقیم ورودی به ولتاژ خروجی متناوب با دامنه و فرکانس موردنظر است. اصول این تبدیل در درس الکترونیک صنعتی، از دروس تخصصی دو گرایش الکترونیک و قدرت و از دروس اختیاری گرایش کنترل، تدریس می‌شود.

^۱. Inverter

مسائل فصل چهارم

- ۴-۱- از جمله دروس تخصصی در مقطع کارشناسی مهندسی کنترل، درس کنترل مدرن است. این درس به چه مباحثی اشاره دارد؟
- ۴-۲- کنترل کننده‌های الکترونیکی، تنظیم خروجی را در سه مرحله انجام می‌دهند. این مراحل را نام ببرید.
- ۴-۳- فیدبک چیست؟ رابطه ورودی - خروجی را در یک سیستم فیدبک دار مشخص کنید.
- ۴-۴- در صورتی که در سیستم پس‌خور شکل ۴-۱، به جای کم کردن ضریبی از سیگنال خروجی از ورودی، آن را با ورودی جمع می‌کردیم چه اتفاقی می‌افتاد؟ با نوشتن روابط توضیح دهید.
- ۴-۵- سه نمونه از کاربردهای سامانه‌های کنترلی فیدبک‌دار را نام ببرید.
- ۴-۶- حس‌گر را در علم کنترل تعریف نموده و پنج مورد از انواع کاربردی آن را نام ببرید.
- ۴-۷- حساسیت را برای حس‌گر تعریف کنید.
- ۴-۸- ویژگی‌های یک حس‌گر خوب چیست؟
- ۴-۹- حس‌گرهای دمایی به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؟ از هر مجموعه دو نمونه را نام ببرید.
- ۴-۱۰- رطوبت مطلق، رطوبت اشباع و رطوبت نسبی را تعریف کنید.
- ۴-۱۱- اصول کار حس‌گر رطوبت LiCl را تشریح کنید.
- ۴-۱۲- حس‌گر بار چیست و بر چه مبنایی عمل می‌کند.
- ۴-۱۳- در شناسایی و مقایسه قابلیت لودسل‌ها، چه معیارهایی وجود دارند؟ نام ببرید.
- ۴-۱۴- موقعیت و سرعت دستگاه‌های دورانی را به چه روش‌هایی اندازه می‌گیرند؟ نام ببرید.
- ۴-۱۵- تاکو ژنراتور چیست؟ مزایا و معایب آن را چه مواردی هستند؟
- ۴-۱۶- کد کننده چیست؟ انواع آن را نام ببرید. کدام کد کننده موقعیت مکانی چرخش گر موتور را نیز نشان می‌دهد؟
- ۴-۱۷- مزایا و معایب استفاده از سیستم مغناطیسی به جای نوری را در کد کننده‌ها مشخص کنید.
- ۴-۱۸- در اندازه‌گیری دور موتور، عیب و مزیت تحلیل‌گر در چیست؟
- ۴-۱۹- کنترل دور موتور dc چگونه انجام می‌شود؟ با نوشتن رابطه توضیح دهید.

فصل ۴: گرایش کنترل / ۹۹

۴-۲۰- موتورهای جریان متناوب یا ac، چه مزایایی نسبت به موتورهای جریان مستقیم دارند؟

۴-۲۱- کنترل سرعت موتور جریان متناوب، به چه روش‌هایی انجام می‌شود؟

فصل ۵

مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

با استفاده از افزارهای درمانی جدید، هر روز شاهد نوآوری‌های درخور توجه در طراحی و ساخت سامانه‌های درمانی و پزشکی هستیم. در شرایطی که پزشکی تاریخی طولانی دارد اما امکان انجام یا تکمیل فرآیند درمان با استفاده از فناوری‌های نوین مکانیکی و الکترونیکی، تنها در چند دهه اخیر محقق شده است. امروزه بخش مهمی از سرمایه‌گذاری انجام گرفته در حوزه پزشکی، به حوزه مهندسی پزشکی^۱ بازمی‌گردد. مهندسی پزشکی، تخصصی جامع و مرکب از چندین زمینه مهندسی است که از کارآمدترین ابزارهای موجود جهت مبارزه با ناتوانی‌ها و بیماری‌ها استفاده می‌کند. با مطالعه سازوکار اثرگذاری بیماری‌ها، دانشمندان این حوزه توانسته‌اند ابزارهای متعددی ابداع کنند که به پزشکان کمک کنند تا جان تعداد بی‌شماری را در سرتاسر جهان نجات دهند. درواقع، مهندسان پزشکی اعضای جدید گروه سلامت جهانی هستند که هرروز باید برای محدودیت‌های فناوری در حوزه پزشکی راه‌حل ارائه دهند. هدف از این فصل، ارائه چشم‌اندازی کلی از نقش اساسی مهندسان پزشکی در حوزه پیشگیری، تشخیص و درمان است. با توجه به محتوای کتاب، تمرکز اصلی این فصل بر روی گرایش بیوالکتریک، یکی از زیرشاخه‌های مهندسی پزشکی، است. این گرایش بر کاربرد مهندسی برق در حوزه پزشکی تأکید دارد.

۵-۱ پیشینه تاریخی

انسان‌های اولیه، بیماری را تأثیر منفی روح خدایان بر جسم انسان‌ها می‌دانستند. بعدها دستاوردهای پزشکان نشان داد که بیماری، منشأ و توجیه مادی دارد و به دنیایی مربوط می‌شود که بدون استفاده از ابزارآلات مخصوص، رؤیت آن برای ما امکان‌پذیر نیست. درواقع، در طی چندین هزار سال گذشته،

^۱. Biomedical Engineering

فصل ۵: مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک / ۱۰۱

پزشکان با استفاده از تجربه حس گرای خود که مبتنی بر قوانین عملی است، علمی را پایه‌ریزی کرده‌اند که توانسته است در تشخیص و درمان انواع بیماری‌ها مؤثر باشد. جدول ۵-۱ فهرستی از وقایع مهم تاریخی و برخی افراد تأثیرگذار را که در استفاده از فناوری در پزشکی پیشرو بوده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱ فهرستی از وقایع مهم تاریخی در پزشکی

زمان	عنوان	فرد یا نهاد مسئول
قدرت گرفتن رومیان	تأسیس اولین بیمارستان	بهداشت ارتش
جنگ‌های صلیبی	توسعه سامانه‌های بیمارستانی	مسیحیان انسان‌دوست
۱۵۹۲ میلادی	اندازه‌گیری نبض و دمای بدن، تحلیل و اندازه‌گیری فشارخون	محققان با تکیه بر اختراعات گالیله
قرن ۱۹ میلادی	تئوری میکروب	لویی پاستور
ابتدای قرن بیستم	آغاز دوران پزشکی مدرن	
۱۹۰۳	ساخت اولین ثبت‌کننده سیگنال قلب	آینتیهون
۱۹۲۷	ساخت دستگاه تنفس مصنوعی	
۱۹۲۹	ساخت اولین دستگاه ثبت الکتروانسفالوگرافی (EEG)	هانس برگر
۱۹۳۰	امکان دیدن اندام‌های بدن با استفاده از اشعه X	
۱۹۳۵	استفاده از تقویت‌کننده‌های الکتریکی برای ثبت فعالیت‌های کورتکس	
۱۹۴۰	کشف پنی‌سیلین و پایین آمدن میزان مرگ‌ومیر هنگام جراحی	فلمینگ
۱۹۴۰	اولین عمل آنژیوگرافی قلبی	
۱۹۵۰	ساخت اولین میکروسکوپ الکترونی	
۱۹۵۴	مهندسی توان‌بخشی و پروتز و اندام مصنوعی	
دهه ۱۹۶۰ میلادی – دراثتای انقلاب صنعت نیمه‌هادی	امکان سنجش و پایش فعالیت قلب از راه دور	
	استفاده از اولین رایانه‌ها به منظور ثبت و تحلیل فعالیت‌های بدنی	
	توموگرافی با استفاده از رایانه ^۱ (CT Scan)	
	استفاده از تقویت‌کننده‌ها در دستگاه‌های قابل کاشت تولید ضربان قلب	
۱۹۶۸	اسکن بدن به روش توموگرافی و با تابش پوزیترون ^۲ (PET)	
۱۹۷۱	تصویربرداری تشدید مغناطیسی ^۳ (MRI)	پائول لاتربر
دهه اول قرن ۲۱ م	امکان استفاده از ربات‌ها برای جراحی اعصاب و عروق قلبی	

^۱. Computer Tomography (CT)

^۲. Positron Emission Tomography (PET)

^۳. Magnetic Resonance Imaging (MRI)

۲-۵ معرفی مهندسی پزشکی

پرواضح است که بسیاری از مشکلات و محدودیت‌هایی که امروزه پزشکان با آنها مواجه هستند، به حوزه مهندسی و کاربردهای آن در طراحی، تحلیل و استفاده از سامانه‌ها بازمی‌گردد. به‌عنوان مثال، در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی و همزمان با گسترش تجهیزات برقی در بیمارستان‌ها، نیاز به حفاظت از جان افراد در برابر این تجهیزات احساس می‌شد. در این شرایط، سیستم حفاظت الکتریکی در بیمارستان‌ها توسط مهندسان به وجود آمد و مقررات و استانداردهای مربوط به آن تدوین شدند.

در حال حاضر، حل مشکلات مربوط به دستگاه‌های مراقبت و درمان به عهده مهندسان پزشکی است. اگر فعالیت مهندسی در درمانگاه یا بیمارستان انجام شود، آن را مهندسی پزشکی بالینی می‌نامیم. به‌منظور فهم، تغییر یا کنترل عملکرد اندام‌های زیستی، مهندسی پزشکی از سه تخصص اصلی برق، مکانیک و شیمی استفاده می‌کند. سه گرایش اصلی مهندسی پزشکی یعنی بیوالکتریک، بیومکانیک و بیومواد به ترتیب به این سه حوزه مربوط می‌شوند. علاوه بر این سه تخصص اصلی، مهندسی پزشکی ارتباط تنگاتنگی نیز با پزشکی دارد تا اطلاعات لازم در خصوص ساختار و چگونگی فعالیت اندام‌های زیستی را بدست آورد. در ادامه این فصل، به مطالعه و بررسی سیگنال‌های حیاتی می‌پردازیم. سپس گرایش‌های مهم مهندسی پزشکی را به‌اختصار مرور خواهیم کرد.

۱-۲-۵ سیگنال‌های حیاتی بدن

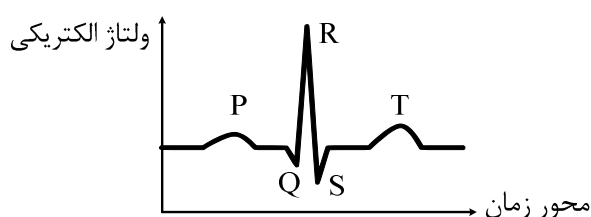
سیگنال‌های زیستی یا حیاتی، تغییرات زمانی و مکانی اندام‌های زنده را نشان می‌دهند. در این قسمت، انواع سیگنال‌های زیستی قابل اندازه‌گیری که حاوی اطلاعات ارزشمندی از فعالیت اندام‌ها هستند را بررسی خواهیم کرد.

۱- سیگنال‌های بیو الکتریک: در اثر تغییرات الکتروشیمیایی درون سلولی و بین سلولی، سیگنال‌های الکتریکی موسوم به سیگنال‌های بیو الکتریک تولید می‌شوند. اگر یک سلول عصبی یا ماهیچه‌ای را تحریک کنیم، از خود پتانسیل عمل تولید می‌کند. این پتانسیل در اثر جریان الکتریکی یونها در غشای سلولی ایجاد می‌شود و قابلیت انتقال به سایر سلول‌ها را دارد. وقتی تعداد زیادی سلول تحریک شوند، سیگنال‌های بیوالکتریک در بافت‌های زنده « قابل اندازه‌گیری » می‌شوند. سیگنال فعالیت قلب یا

الکتروکاردیوگرام^۱ (ECG)، فعالیت معده یا الکتروگاستروگرام^۲ (EGG)، فعالیت مغز یا الکتروانسفالوگرام^۳ (EEG) و در نهایت فعالیت ماهیچه‌ها یا الکترومیوگرام^۴ (EMG) از همین جنس هستند. در این قسمت، سیگنال‌های الکتریکی ECG و EEG را کمی بیشتر شرح می‌دهیم.

الف) سیگنال قلب یا الکتروکاردیوگرام (ECG): الکتروکاردیوگرام یا نوار قلب، به نمودار ثبت‌شده‌ای اطلاق می‌شود که در اثر تغییرات پتانسیل الکتریکی ناشی از فعالیت عضله قلب ایجاد می‌گردد. این نمودار، نشان‌دهنده امواج الکتریکی تولیدشده توسط قلب در مراحل مختلف فعالیت می‌باشد و سرعت و آهنگ ضربان را مشخص می‌کند. مطابق با شکل ۵-۱، یک الکتروکاردیوگرام طبیعی به ترتیب شامل یک موج P (ناشی از مثبت شدن ولتاژ الکتریکی دهلیزها قبل از شروع انقباض)، یک موج پیچیده QRS (ناشی از اختلاف پتانسیل الکتریکی بطن‌ها پیش از شروع انقباض) و یک موج T در دوره کوتاه استراحت قلب است. پس ECG حاوی اطلاعات ارزشمندی در خصوص نحوه فعالیت عضله قلبی می‌باشد.

ب) سیگنال مغز یا الکتروانسفالوگرام (EEG): همه پیام‌های عصبی از طریق فعالیت سلول‌های عصبی (نورون‌ها) ایجاد می‌شوند. این پیام‌ها از طریق ارتباط الکتریکی و شیمیایی سلول‌ها در سرتاسر بدن انتشار می‌یابند. با قرار دادن الکتروده بر روی پوست سر، می‌توان تمامی سیگنال‌های الکتریکی ایجادشده توسط سلول‌های مغز را که از طریق فرآیندهای فیزیولوژی و انتقال یون‌ها در درون آنها ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری نمود. سیگنال EEG، معمولاً در وضعیتی از فرد ثبت می‌شود که وی کاملاً آرام بوده و امکان حرکت الکترودها بر روی سر وجود نداشته باشد. امواج مغزی غالباً نامنظم هستند و هیچ الگوی مشخصی



شکل ۵-۱ معرفی بخش‌های مختلف امواج ECG شامل P، QRS و T.

^۱ ElectroCardioGram (ECG)

^۲ ElectroGastroGram (EGG)

^۳ ElectroCardioGram (EEG)

^۴ ElectroMyoGram (EMG)

ندارند؛ اما گاهی الگوهای مجزایی نیز در آنها وجود دارند که برخی مرتبط با وضعیت عصبی فرد و برخی نشاندهنده یک بیماری خاص (مثل صرع) می‌باشند. امواج آلفا، بتا، تتا و دلتا دیده شده در سیگنال‌های EEG، از جمله الگوهای کشف شده هستند. در عمل، پزشکان بسیاری از اختلالات مغزی همچون صرع، آلزایمر، اسکیزوفرنی و افسردگی را از بررسی سیگنال‌های EEG تشخیص می‌دهند.

۲- سیگنال‌های بیومغناطیسی: اندام‌های مختلف بدن شامل قلب، مغز و ریه‌ها، میدان‌های مغناطیسی ضعیفی ایجاد می‌کنند که قابل اندازه‌گیری توسط حسگرهای مغناطیسی هستند. معمولاً، قدرت این میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف‌تر از سیگنال‌های بیوالکتریک است. با حسگرهای مغناطیسی بسیار دقیق امکان پایش مستقیم فعالیت مغناطیسی مغز (مگنتوانسفالوگرافی MEG)، اعصاب محیطی بدن (مگنتونوروگرافی MNG)، مسیر معده به روده (مگنتوگاستروگرافی MGG) و قلب (مگنتوکاردیوگرافی MCG) وجود دارد.

۳- سیگنال‌های بیوشیمیایی: سیگنال‌های بیوشیمیایی حاوی اطلاعات ارزشمندی در خصوص عملکرد اندام‌های زنده هستند. برای ارزیابی آنها، اطلاع از غلظت یون‌های مختلفی همچون کلسیم و پتاسیم، تغییر در فشار اکسیژن و دی‌اکسید کربن موجود در ریه‌ها و تخمین مقدار عناصر متابولیکی مثل گلوکز، الزامی است.

۴- سیگنال‌های بیومکانیکی: فعالیت مکانیکی اندام‌های زنده شامل حرکت، کشش، نیرو و فشار، سیگنال‌های مکانیکی تولید می‌کنند. یکی از کاربردهای این سیگنال‌ها امکان نمایش تغییر فشار خون فرد با استفاده از نیرویی است که خون بر دیواره رگ‌ها وارد می‌کند.

۵- سیگنال‌های بیوآکوستیکی: بسیاری از فعالیت‌های حیاتی سیگنال‌های صوتی (آکوستیکی) تولید می‌کنند. به عنوان مثال، جریان خون، دم و بازدم، حرکت مفاصل و ماهیچه‌ها هریک سیگنال آکوستیکی به خصوصی دارند.

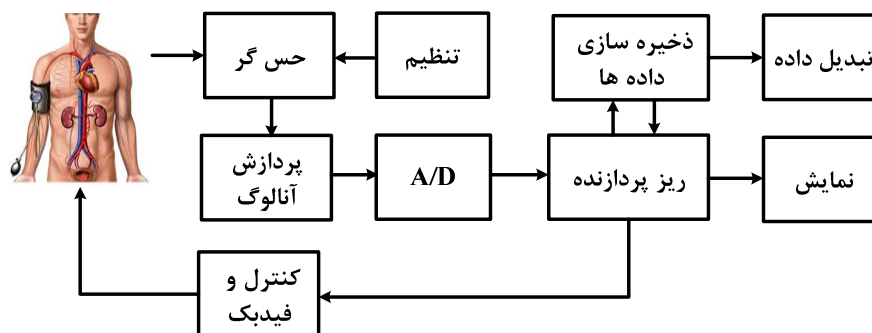
۶- سیگنال‌های نوری حیاتی: نور ناشی از فعالیت‌های حیاتی، یا به صورت طبیعی تولید می‌شود و یا با استفاده از یک منبع نور خارجی به وجود می‌آید. برای تشخیص سلامت جنین می‌توان از مشخصه‌های نوری مایع آمنیوتیک در کیسه جنینی استفاده نمود. یکی از شیوه‌های تشخیص سلامت قلب، پخش ماده ای نورانی در خون است. نور قرمز و مادون قرمز در اندازه‌گیری میزان اکسیژن خون کاربرد دارد.

۳-۵ زیرشاخه‌های مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

۱-۳-۵ ابزار دقیق و تجهیزات پزشکی

این زیرشاخه از مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک، به طراحی و ساخت تجهیزات ثبت کننده و کنترل فعالیت‌های حیاتی می‌پردازد. تاکنون ابزارهای متعددی به منظور اندازه گیری و ثبت سیگنال‌های فیزیولوژیکی و حیاتی بدن و تصویربرداری از اندام‌ها اختراع شده‌اند (جدول ۵-۱). از این دستگاه‌ها برای تصویربرداری و ثبت سیگنال‌هایی همچون EEG و ECG استفاده می‌شود. دسته‌ای دیگر از تجهیزات پزشکی، دستگاه‌هایی همچون تولیدکننده های ضربان قلب و تنفس مصنوعی هستند که به منظور کنترل اعمال فیزیولوژیکی بدن کاربرد دارند. برخی از این دستگاه‌ها مثل تولیدکننده های ضربان قلب، کاشتنی و در اصطلاح تهاجمی هستند درحالی که برخی دیگر مثل سمعک، غیرتهاجمی بوده و در خارج از بدن انسان نصب می‌شود. شکل ۵-۲ بلوک دیاگرام یک سیستم ابزار دقیق را به منظور بررسی و نمایش شرایط بیمار نشان می‌دهد. بلوک‌های اصلی موجود در این شکل عبارت از موارد زیر هستند.

۱- **حس گر:** سیگنال‌های آنالوگ ناشی از فعالیت حیاتی قلب، مغز و ماهیچه‌ها، مستقیماً توسط حس گرها دریافت می‌شوند. این سیگنال‌ها همچنین به شکل غیرمستقیم توسط مبدل‌هایی که سیگنال‌های غیر الکتریکی مثل فشار، جریان و دما را به الکتریکی تبدیل می‌کنند، ثبت می‌گردند. دسترسی به



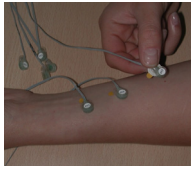
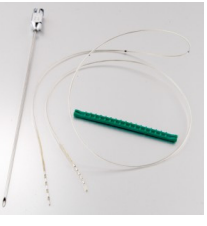
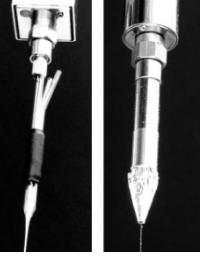
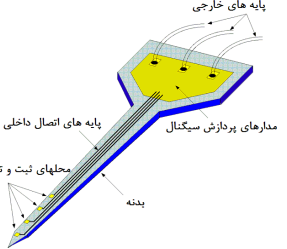
شکل ۵-۲ اجزای یک سیستم ابزار دقیق.

حسگرهای حساس و دقیق، تأثیر به سزایی در دقت اندازه‌گیری‌های انجام‌شده دارند. در عمل، سیگنال‌های حیاتی را با استفاده از حسگرهایی موسوم به الکتروود اندازه می‌گیرند. الکتروودها، ارتباط میان ولتاژهای یونی درون بدن را با ابزارهای دقیق بیرونی برقرار ساخته و به دو دسته تهاجمی و غیرتهاجمی تقسیم می‌شوند. الکتروودهایی که بر روی سطح پوست قرار می‌گیرند از نوع غیرتهاجمی و آن‌هایی که به‌منظور اندازه‌گیری باید وارد بدن شوند، تهاجمی هستند. ثبت سیگنال‌ها با استفاده از الکتروودهای باکیفیت، عکس‌العمل‌های حرکتی را به حداقل رسانده و سیگنال‌های دقیق، پایدار و بدون تغییری ثبت می‌کنند. جنس الکتروودها نیز در اندازه‌گیری مهم است چراکه مایعات درون بدن برای برخی از فلزات، نقش خوردگی دارند. به‌علاوه، برخی مواد شیمیایی و فلزی نیز برای بدن سمی هستند. ملاحظات دیگری از جمله قیمت، ماندگاری و مشخصات مکانیکی نیز در انتخاب الکتروودها نقش دارند.

مبدل‌ها، کمیت‌های غیرالکتریکی را به الکتریکی تبدیل می‌کنند و اساس کار همگی آن‌ها بر مبنای اصول ساده فیزیکی بنا نهاده شده است. در عمل، الکتروودها و مبدل‌ها همگی حسگر محسوب می‌شوند. خروجی حسگرهای زیستی، سیگنال‌های الکتریکی آنالوگی هستند که باید پس از تقویت و حذف نویز توسط تقویت‌کننده‌ها و فیلترها (بلوک پردازش آنالوگ در شکل ۵-۲)، برای پردازش دیجیتال به مبدل آنالوگ به دیجیتال (A/D) ارسال شوند. جدول‌های ۵-۲ و ۵-۳ و شکل ۵-۳، انواع الکتروودها و مبدل‌های پرکاربرد را نشان می‌دهند.

۲- پردازش آنالوگ: پردازش اولیه سیگنال‌های زیستی با استفاده از مدارهای آنالوگ انجام می‌شود. سیگنال‌های زیستی معمولاً بسیار ضعیف بوده و حاوی نویز و اغتشاش‌های ناخواسته می‌باشند؛ لذا پس از آشکارسازی توسط یک حسگر مناسب، ابتدا تقویت می‌شوند. تقویت، توسط تقویت‌کننده‌هایی با بهره متغیر انجام می‌شود. سیگنال حاصل سپس با استفاده از فیلترهای آنالوگ، عاری از نویز می‌گردد. فیلترها، بلوک‌هایی الکترونیکی هستند که برای تنظیم مشخصه‌ها و حذف مؤلفه‌های ناخواسته از سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۵-۲ نمونه‌هایی از انواع الکترودها

الکترودهای ECG	الکترودهای EMG	الکترودهای EEG	میکروالکترودها (ثبت پتانسیل عمل سلولها)
پلیمرها یا الاستومرها 	دیسک‌های نقره یا پلاتین 	الکترودهای فنجان‌ی از قلع یا پلاتین 	میکروپیپت‌های شیشه‌ای 
الکترود Ag/AgCl 	الکترودهای سوزنی دوقطبی و هم‌مرکز 	الکترودهای عمقی 	میکروالکترودهای فلزی 
الکترود سوزنی تک‌قطبی 			میکروپروپه‌های حالت جامد 

۳- مبدل آنالوگ به دیجیتال^۱: شکل موج پیوسته‌ای که توسط حس‌گر آشکارسازی می‌شود، تا وقتی در مرحله تقویت و فیلتر شدن قرار دارد، همچنان از جنس آنالوگ است. مبدل آنالوگ به دیجیتال،

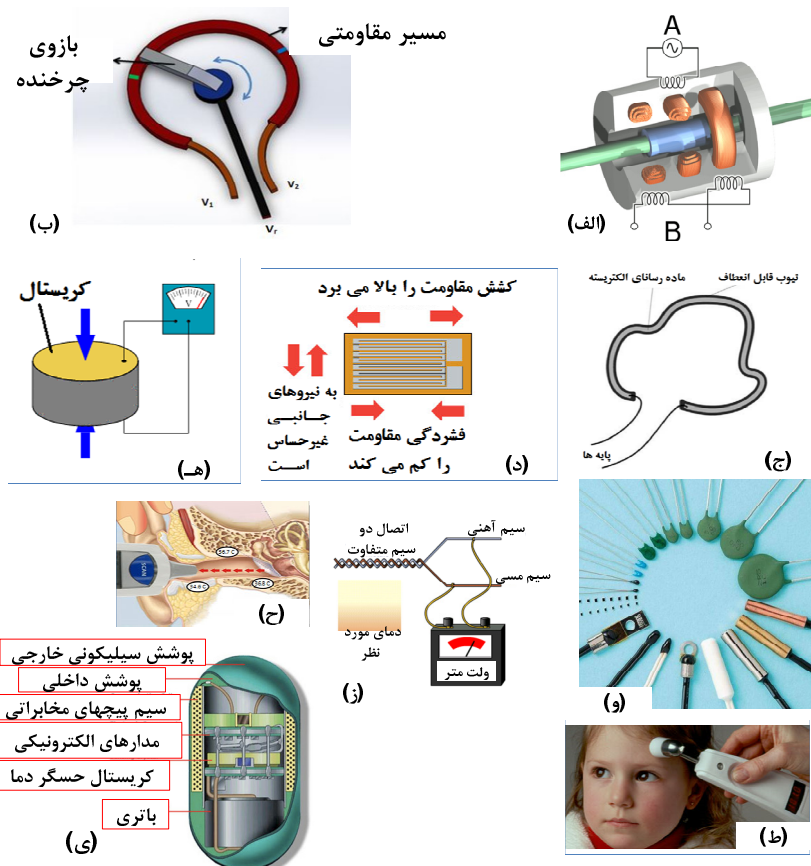
^۱. Analog to Digital Converter (ADC or A/D)

سیگنال آنالوگ را به دیجیتال تبدیل می‌کند. این تبدیل بسیار مهم است چراکه تنها راه ذخیره‌سازی و تحلیل مطمئن داده‌ها، استفاده از رایانه و ریزپردازنده‌های دیجیتال است.

جدول ۵-۳ انواع مبدل‌ها

متغیر اندازه- گیری	انواع	اصول کار	کاربرد در بدن
جابه‌جایی، سرعت یا شتاب	ترانسفورماتور تفاضلی متغیر خطی ^۱ (LVDT)	اثر القایی تغییر میزان سلف یک سیم-پیچ با جابه‌جایی هسته	
	مبدل جریان الکترومغناطیسی	قانون فارادی	سرعت خون
	مبدل‌های پتانسیومتری	حرکت اتصال لغزشی روی یک پتانسیومتر	
	مبدل مقاومتی الاستیک	تغییر مقاومت الاستیک با تغییر حجم	تشخیص وجود لخته در پا
	استرین گیج	مقاومت متناسب با استرین	فشارخون
	مبدل خازنی	تغییر خازن با تغییر فاصله صفحات	تنفس
	مبدل‌های پیزوالکتریک	نیروی مکانیکی را به پتانسیل الکتریکی تبدیل می‌کند	گوش گردن به صدای قلب، فشارسنج‌های خودکار خون، تولید امواج ماورای صوت
	مبدل‌های الکترومکانیکی کوچک (MEMS)	دیافراگم نصب‌شده بر پیزوالکتریک	انقباض درون رحم حین زایمان، فشارخون، تنفس و ماشین‌های دیالیز کلیه، تولیدکننده‌های ضربان قلب و تنظیم ضربان
دما	ترمیستور	تغییر مقاومت با دما	اندازه‌گیری دما هنگام اندازه‌گیری بازده قلب
	ترموکوپل	قانون سبیک	
	دماسنج پرده صماخ	پیل گرمایی	اندازه‌گیری دمای داخل بدن
	دماسنج سرخرگ تمپورال	استفاده از آشکارساز مادون قرمز	اندازه‌گیری غیرتهاجمی دمای داخل بدن
	قرص دماسنج خوراکی	فرکانس متناسب با دمای بدن	بررسی دمای بدن پس از سخته

^۱. Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

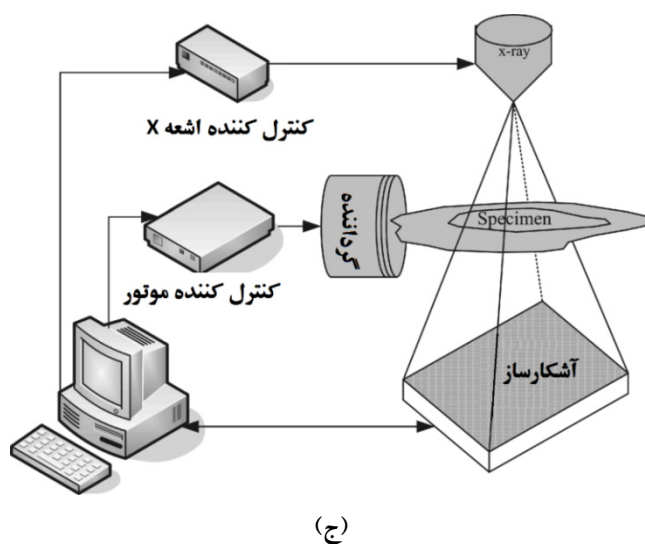
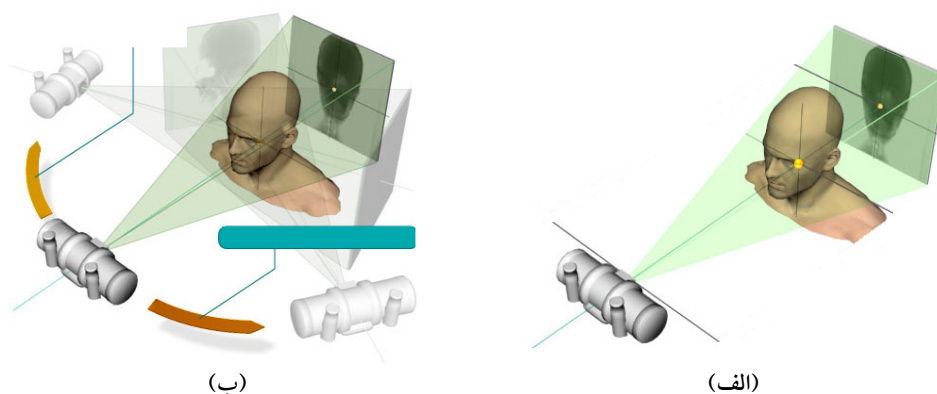


شکل ۳-۵ (الف) LVDT، (ب) پتانسیومتر مبدل جابجایی، (ج) مقاومت مبدل الاستیک، (د) مبدل استرین گیج، (ه) مبدل پیزوالکتریک، (و) ترمیستور، (ز) ترموکوپل، (ح) دماسنج پرده صماخ، (ط) دماسنج سرخرگ تمپورال و (ی) قرص دماسنج خوراکی.

۴- نمایش گر: تجهیزات ابزار دقیق معمولاً شامل نمایش گر تصویری و گاهی صوتی هستند. معمولاً اطلاعات به شکلی نمایش داده می شود که امکان بررسی وضعیت داخلی اندام بیمار، برای پزشک فراهم شود. اگر هدف صرفاً نمایش باشد، این کار با تصویربرداری قابل انجام است. دستگاه های تصویربرداری، به دو دسته تصویربرداری با تابش و تصویربرداری بدون تابش تقسیم می شوند.

الف) تصویربرداری با تابش: یک راه تصویربرداری از درون بدن، استفاده از تابش یونیزه (تابشی که قادر به تولید یون است) می‌باشد. این تابش، شامل انواع زیر است.

الف-۱) رادیوگرافی: همه دستگاه‌های تصویربرداری اشعه X، مطابق با شکل ۴-۵-الف، یک منبع تولید اشعه و یک آشکارساز دارند. در رادیوگرافی، اشعه X از خارج به بدن بیمار تابانده شده، از آن

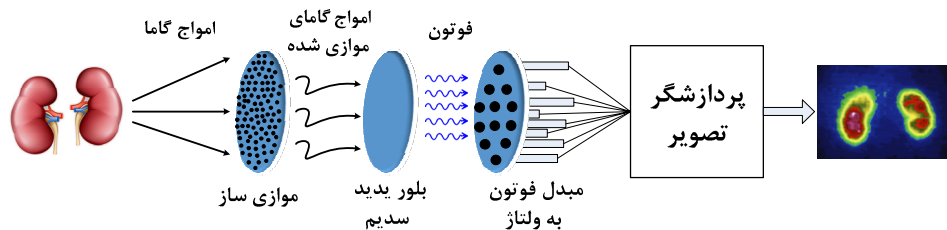


شکل ۴-۵ الف) رادیوگرافی با استفاده از اشعه X، ب) رادیوگرافی با تغییر زاویه برای بهبود کیفیت تصویر و ج) توموگرافی رایانه‌ای با استفاده از اشعه X.

عبور نموده و در نهایت در پشت بدن توسط دستگاه‌های حساس جذب می‌شود. اساس کار دستگاه رادیوگرافی بر مبنای تشخیص میزان تضعیف اشعه X در اندام‌های مختلف بدن استوار است. اشعه با عبور از بدن انسان، تصویری سیاه‌وسفید از استخوان‌ها، اندام‌ها و فضاها را بر روی صفحه حساس به اشعه ایجاد می‌کند. از معایب این روش، عدم امکان تشخیص اندام‌هایی است که در یک امتداد قرار گرفته‌اند. امکان تصویربرداری از بافت‌های نرم نیز با این روش وجود ندارد. به عنوان مثال، با وجود آنکه تصویر رادیوگرافی استخوان بسیار واضح است، از مغز تصویر واضحی بدست نمی‌آید.

به منظور تصویربرداری از اندام‌های موجود در یک امتداد، می‌توان مطابق با شکل ۴-۵-ب زاویه عکس‌برداری را به گونه‌ای تغییر داد که اندام موردنظر در تصویر مشخص شود. این کار سخت و زمان‌بر، توموگرافی نامیده می‌شود و تصویربرداری از مقاطع عرضی بدن را ممکن می‌کند. در این روش، منبع اشعه X در یک طرف و آشکارساز در طرف دیگر حرکت داده می‌شوند. اگرچه این شیوه در آشکارسازی جزئیات اندام‌ها بسیار دقیق است اما در درک ابعاد و فواصل آنها، با خطا همراه می‌باشد. همچنین به علت زمان‌بر بودن تصویربرداری به این روش، میزان اشعه دریافتی بالا است. توموگرافی با استفاده از رایانه (CT)، یک روش متفاوت برای تصویربرداری از اندام‌ها می‌باشد. در آن اندازه‌گیری میزان جذب اشعه X با روش بازسازی تصویر ترکیب می‌شود تا نمایش اندام‌های داخلی بدن، طبق شکل ۴-۵-ج، در سه بعد انجام گیرد. منبع اشعه X و آشکارساز باهم حول فرد می‌چرخند. وقتی همه تصاویر دریافتی در رایانه ذخیره شوند، یک نرم‌افزار محاسباتی تصاویری سه‌بعدی از مقاطع عرضی و از درون اندام‌ها ایجاد می‌کند. هر چه تعداد چرخش‌ها بیشتر باشد، تصویر سه‌بعدی دقیق‌تری حاصل می‌شود. با CT، تشخیص تومورهای نرم و سخت، کیست‌ها، لخته‌های خون و بافت‌های آسیب‌دیده و مرده به سادگی امکان‌پذیر است.

الف-۲) تصویربرداری توسط منبع اشعه درونی: مواد رادیواکتیو، سه نوع اشعه موسوم به آلفا، بتا و گاما تولید می‌کنند. در روش‌های تصویربرداری توسط منبع اشعه درونی، مواد رادیواکتیو به بدن بیمار تزریق می‌شوند و میزان تابش آنها از درون بدن اندازه‌گیری می‌گردد. پس از آن، انرژی تابشی از درون اندام‌ها را به روش‌های غیرمستقیمی مانند عکس‌برداری، یونیزاسیون و اندازه‌گیری درخشندگی اندازه می‌گیرند. معمول‌ترین آشکارساز درخشندگی، دوربین گاما است. عملکرد دوربین گاما در شکل ۵-۵ نمایش داده شده است. دوربین، بر روی اندام قرار می‌گیرد و با موازی‌سازی اشعه دریافتی و عبور دادن آن از بلور یدید سدیم، آن را به فوتون‌های نور تبدیل می‌کند.

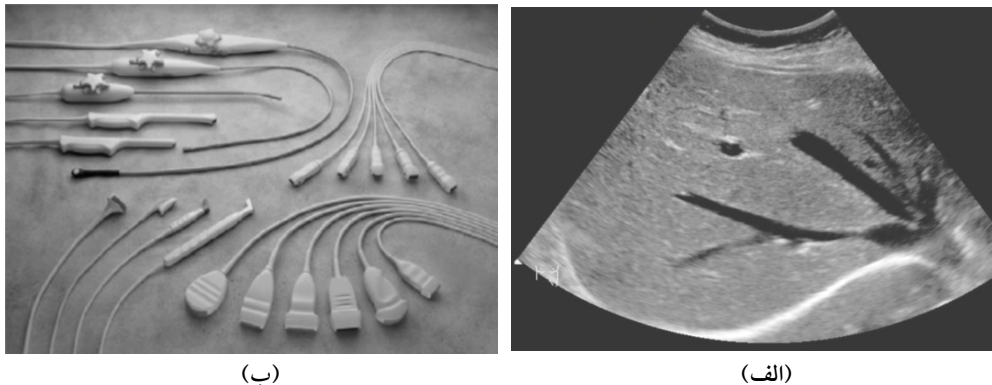


شکل ۵-۵ تصویربرداری با دوربین گاما.

در نهایت یک آشکارساز نوری فوتون‌ها را به ولتاژ الکتریکی تبدیل می‌کند. دوربین گاما را می‌توان به رایانه وصل کرد تا علاوه بر ذخیره‌سازی تصاویر، امکان تحلیل آنها نیز وجود داشته باشد. امکان مطالعه اندام‌های در حال حرکت نیز با اتصال دوربین به رایانه ممکن می‌شود. مثلاً با ثبت پیاپی تصاویر گرفته شده از دیواره قلب، می‌توان نحوه حرکت آن را بررسی نمود.

ب) تصویربرداری بدون تابش: یکی از مهم‌ترین روش‌های تصویربرداری تشخیصی، تصویربرداری ماورای صوت (اولتراسونیک) است. امواج ماورای صوت، فرکانس بالاتری نسبت به امواج صوتی عادی داشته و قابل شنیدن توسط گوش انسان نیستند. اساس تصویربرداری به این روش، آشکارسازی امواج صوتی بازگشتی از بافت‌های بدن پس از ارسال این امواج می‌باشد. با ضرب کردن زمان تأخیر موج برگشتی در سرعت صوت، مرز بافت‌ها مشخص می‌شود. برخلاف تصویربرداری با اشعه X و CT، این روش از صوت استفاده می‌کند و لذا بی‌ضرر است. از آنجاکه پیشرفت فناوری، هزینه و اندازه افزارهای ماورای صوت را کاهش داده است، هم اینک دستگاه‌های تصویربرداری ماورای صوت قابل حمل شده و در همان لحظه استفاده، اطلاعات کاملی در مورد حرکت بافت‌های نرم بدن به دست می‌دهند. شکل ۵-۶ الف یک تصویر ماورای صوت بدست آمده از کبد را نشان می‌دهد. شکل ۵-۶ ب، مبدل‌هایی که در تصویربرداری ماورای صوت استفاده می‌شوند را به تصویر می‌کشد. این مبدل‌ها، اندازه، شکل و فرکانس‌های کاری مختلفی دارند. در محل تماس آنها با بدن، از ژل‌های خاصی استفاده می‌شود که با افزایش میزان تماس، باعث کاهش تضعیف امواج صوتی قبل از ورود به بدن می‌شوند.

تصویربرداری شدید مغناطیسی (MRI)، یکی دیگر از روش‌های تصویربرداری بدون تابش اشعه یونیزه است که اطلاعات دقیقی در مورد وضعیت اندام‌ها می‌دهد. تفکیک اندام‌های بدن در این روش با ثبت تفاوت اسپین اتم‌ها، وقتی بدن در معرض یک میدان مغناطیسی قوی قرار گرفته است، انجام می‌شود.

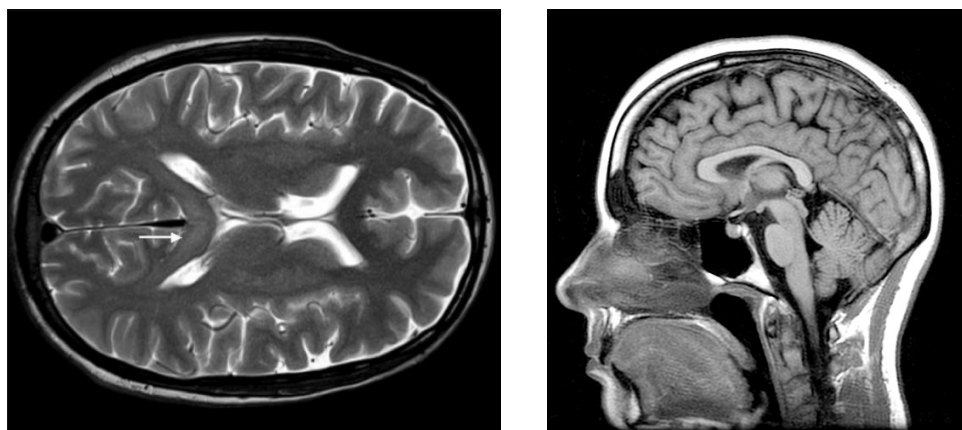


شکل ۵-۶ (الف) تصویر ماورای صوت از کبد و (ب) انواع مبدل‌های مورد استفاده در تصویربرداری ماورای صوت.

در تصاویر تهیه شده از مقاطع عرضی بدن توسط MRI، استخوان و بافت نرم هر دو وجود دارند. وضوح تصاویر دریافتی را نیز می‌توان به سادگی حداکثر کرد. این روش، پیچیده‌ترین روش تصویربرداری از اندام‌ها به شمار می‌رود و کاربرد زیادی در تشخیص انواع بیماری‌ها دارد. تصاویر MRI، آناتومی اندام‌های درون بدن را با جزییات تمام نشان می‌دهند و برای بررسی اغلب بخش‌های بدن از جمله مغز، شکم، قلب، گردن، بافت‌های نرم، مفاصل و ماهیچه‌ها، مناسب هستند. این روش تصویربرداری، کاربرد زیادی در تشخیص غده‌های سرطانی و نیز تشخیص خون‌ریزی در اندام‌های داخلی دارد.

سیستم تصویربرداری MRI، شامل یک ابرهادی مغناطیسی با میدان مغناطیسی ثابت و بزرگ است. در این میدان، سه سیم‌پیچ در سه محور x ، y و z فضایی قرار گرفته‌اند. با توجه به تفاوت اسپین مغناطیسی اتم‌های اندام‌های بدن، میدان‌هایی در این سیم‌پیچ‌ها القا می‌شود که در نهایت با استفاده از یک فرستنده و گیرنده رادیویی آشکارسازی می‌گردند. این سیگنال تقویت شده، به رایانه ارسال می‌شود و پس از تجزیه و تحلیل، به تصویر نهایی مبدل می‌شود. شکل ۵-۷ دو نمونه از تصاویر MRI گرفته شده از مغز را نشان می‌دهد.

۵- ذخیره‌سازی داده‌ها: علاوه بر نمایش، بسیاری از سامانه‌های ابزار دقیق قابلیت ذخیره‌سازی اطلاعات را نیز دارند. در برخی دستگاه‌ها، خلاصه داده‌ها و در برخی، کلیه داده‌ها ذخیره می‌شوند. در دسته اول، کاربر باید داده‌ها را حین نمایش تحلیل کند. اما در دسته دوم، امکان تحلیل در آینده نیز وجود دارد. مثلاً در بازار، ثبت‌کننده‌هایی با عنوان «هولتر» وجود دارند که می‌توانند داده‌های ECG گرفته شده



شکل ۵-۷ تصاویر MRI از مغز.

از قلب بیمار را تا چندین روز ثبت نمایند. این داده‌ها سپس پردازش شده و به‌منظور تشخیص شاخص‌های بیماری استفاده می‌شوند. با ابداع تلفن و هم‌اینک اینترنت، سیگنال‌های حیاتی را می‌توان در محل خانه بیمار ثبت نمود و آنها را به‌منظور انجام پردازش‌های بعدی و ذخیره‌سازی به محل دیگری ارسال کرد. امکان باز ارسال نتیجه تشخیص بیماری نیز، وجود دارد. در این صورت دستگاه ابزار دقیق باید قابلیت ارسال و دریافت سیگنال‌ها را نیز داشته باشد.

۶- تنظیم (کالیبراسیون): یک سیستم ابزار دقیق پزشکی، شامل بلوک تنظیم یا کالیبراسیون با قابلیت ارسال و دریافت سیگنال تنظیم می‌باشد. سیگنال تنظیم، دامنه و فرکانس مشخص دارد و تنظیم پارامترهای داخلی دستگاه با استفاده از آن ممکن می‌شود.

۷- فیدبک: وجود سازوکار فیدبک، در دستگاه‌های مهمی از قبیل ضربان‌ساز قلب یا ریه ضروری است. این سازوکار باید پس از اطلاع از تعداد ضربان قلب و یا تعداد دم و بازدم، کنترل آگاهانه‌ای نسبت به این فعالیت‌های حیاتی داشته باشد.

۵-۳-۲ پردازش سیگنال‌های حیاتی

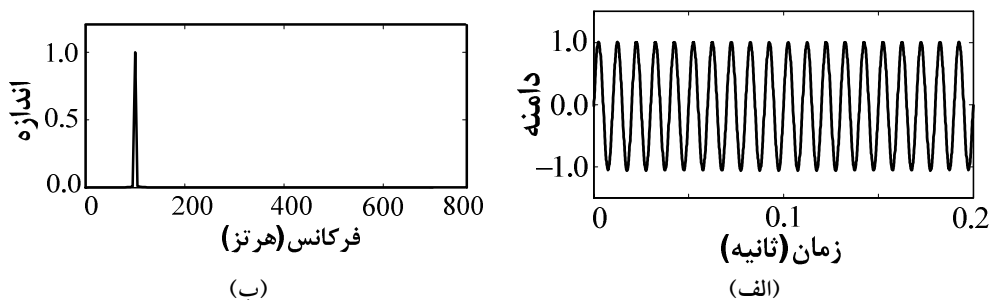
الف) نمایش حوزه فرکانس سیگنال‌های زیستی: به‌منظور پردازش صحیح سیگنال‌ها، یک مهندس بیوالکتریک باید با خواص سیگنال‌ها در دو حوزه زمان و فرکانس آشنا باشد. طبق نظریه فوریه، یک شکل

فصل ۵: مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک / ۱۱۵

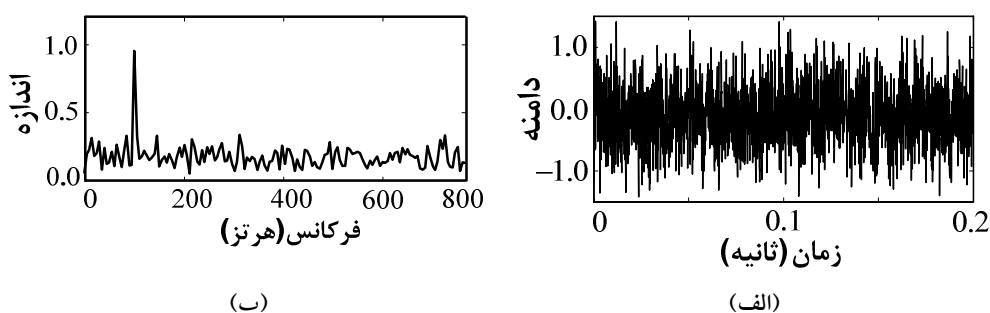
موج پیچیده را می‌توان با هر دقتی به صورت جمع یک سری توابع ریاضی سینوسی نوشت. در واقع، هر شکل موج پیچیده ای را می‌توان با یک سری سیگنال‌های سینوسی با فرکانس‌ها و دامنه‌های متفاوت نشان داد. این شیوه نمایش را نمایش موج در حوزه فرکانس یا به اصطلاح نمایش طیف موج می‌گویند.

شکل ۵-۸-الف، یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱۰۰ هرتز و شکل ۵-۸-ب طیف فرکانسی آن را نشان می‌دهد. طیف این سیگنال، دارای یک قله در فرکانس ۱۰۰ هرتز بوده و به درستی نشان می‌دهد که همه انرژی سیگنال، در این فرکانس متمرکز شده است. حال همین سیگنال سینوسی با فرکانس ۱۰۰ هرتز را در شرایطی در نظر بگیرید که آلوده به نویز باشد. با وجود آنکه فرکانس اصلی در نمایش زمانی واضح نیست اما قله موجود در طیف شکل ۵-۹-ب نشان می‌دهد که بیشتر انرژی در مؤلفه ۱۰۰ هرتز ذخیره شده است.

سری فوریه شیوه مناسبی به منظور نمایش و تحلیل انواع سیگنال‌های حیاتی مثل ضربان تکراری قلب یا



شکل ۵-۸ (الف) یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱۰۰ هرتز و (ب) طیف فرکانسی آن.



شکل ۵-۹ (الف) یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱۰۰ هرتز و آلوده به نویز و (ب) طیف فرکانسی آن.

نوسان‌های متناوب تولیدشده با تارهای صوتی می‌باشد. در حقیقت گاهی اوقات، تفاوت سیگنال‌های زیستی مربوط افراد سالم و بیمار در حوزه فرکانس بیشتر مشهود است. مثلاً برای تشخیص ناهنجاری‌های مغزی، می‌توان طیف سیگنال مغزی فرد مشکوک به بیماری را با طیف سالم مقایسه کرد. تبدیل‌های دیگری مثل تبدیل ویولت نیز وجود دارند که سیگنال را در حوزه مشترک زمان-فرکانس نمایش می‌دهند و امکان دریافت اطلاعات بیشتر را فراهم می‌کنند. آشنایی با این ابزارها برای یک مهندس پزشکی ضروری است.

ب) حذف نویز از سیگنال‌های زیستی: پزشکان می‌توانند تشخیص خود را با تکیه بر سیگنال‌ها و تصاویر دریافتی از داخل بدن انجام دهند. مشکل اصلی این روش تشخیص، وجود نویز در سیگنال‌های استخراج شده از بدن می‌باشد. طبیعت نویز می‌تواند خارجی بوده و از بیرون بدن به سیگنال اصلی اضافه شود. نویز گرمایی یا نویز تولید شده توسط برق شهر، از این دست هستند. دسته دیگر نویزهایی هستند که منبع آنها در داخل بدن بیمار است. این نویزها اگر از بافت‌ها یا اندام‌های همسایه تزریق شوند، آرتیفکت نام دارند. نویز، تشخیص پزشک را با اشتباه همراه می‌کند. لذا مهندسان بیوالکتریک باید نهایت تلاش خود را برای حذف نویز انجام دهند.

معمولاً هنگام دریافت سیگنال حیاتی، پزشک از بیمار می‌خواهد که ساکت و بدون حرکت مانده و حتی نفس خود را حبس کند تا فعالیت ماهیچه‌ها، تنفس و موارد مشابه باعث ایجاد آرتیفکت نشود. انجام این کار برای برخی بیماران دشوار و در برخی موارد (مثل تشنج) غیرممکن است. به علاوه، الکترودها ممکن است به مقدار کمی جابجا شوند که خود باعث ایجاد آرتیفکت می‌شود. لذا باید راهکارهایی اندیشیده شوند که با توجه به تفاوت بنیادین ماهیت سیگنال اصلی، نویز و آرتیفکت، آرتیفکت را از سیگنال حیاتی جدا کند.

با وجود آنکه بخش عمده‌ای از نویز را می‌توان با استفاده از فیلترهای الکترونیکی حذف نمود اما حذف کامل آن گاهی نیاز به الگوریتم‌های ریاضی پیچیده و راهکارهای ابتکاری دارد. یک روش ساده ولی مفید برای حذف نویز، میانگین‌گیری از سیگنال اصلی است. به عبارت دیگر، می‌توان از خاصیت تکرارپذیری سیگنال‌های حیاتی که در ذات بسیاری از آنها مانند ECG و فشارخون وجود دارد استفاده نمود و با میانگین‌گیری در تکرارهای مختلف، اثر نویز را کاهش داد. امروزه با استفاده از تبدیل ویولت و روش‌های مشابهی که سیگنال‌ها را همزمان در دو بعد زمان و فرکانس نمایش می‌دهند، روش‌های بسیار کارآمدی

برای تحلیل سیگنال‌های زیستی ابداع شده اند. توضیح بیشتر در مورد سازوکار چنین روش‌هایی، در این بحث نمی‌گنجد.

۳-۳-۵ تشخیص خودکار بیماری با استفاده از رایانه

پزشک قادر است که با تکیه بر دانش و تجربه خود، انواع بیماری‌ها را از روی سیگنال‌ها و تصاویر ثبت شده از حس‌گرها تشخیص دهد. یکی از زیرشاخه‌های مهم مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک، خودکار نمودن تشخیص بیماری با استفاده از رایانه‌ای و دیگر دستگاه‌های برنامه پذیر است. برای انجام این کار، مهندسان باید بتوانند فرآیند تشخیص و تصمیم‌گیری انسانی را به شکل مصنوعی تقلید کنند تا در نهایت این روش‌ها را در کاربردهای بالینی به کار گیرند. مغز انسان می‌تواند از تجربه‌های گذشته درس بگیرد، سیگنال‌های حسی مثل صدا و تصویر را تشخیص دهد و در برابر تغییرات محیطی واکنش مناسب از خود نشان دهد. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANN) طوری طراحی شده‌اند که قادرند واکنش‌های یک مغز واقعی را به طور کامل تقلید کنند. این شبکه‌ها به مراتب ساده‌تر از شبکه‌های عصبی زیستی هستند. یک شبکه عصبی پیچیده پیاده‌سازی شده با رایانه، تنها چند هزار نورون با چند صد اتصال دارد. به هر حال علیرغم سادگی، این شبکه‌ها می‌توانند درست مثل مغز واقعی یاد بگیرند، پردازش کنند و در شرایط جدید تصمیم بگیرند. لذا از آنها به طور گسترده در تشخیص و طبقه‌بندی الگوهای موجود در تصاویر استفاده می‌شود. ورودی این شبکه‌ها می‌تواند یک سیگنال یا تصویر خام حیاتی و یا ویژگی‌هایی از آن باشد که با روش‌هایی مثل میانگین‌گیری، بخش از نویز آن حذف شده است. این شبکه‌ها باید یاد بگیرند که ویژگی‌ها یا الگوهای موجود در سیگنال ورودی را تشخیص دهند. برای این کار، یک فرآیند آموزشی لازم است که در آن، کاربر، ANN را با نمونه‌های ورودی‌های مهم روبه‌رو می‌کند. در طول زمان شبکه می‌آموزد که چگونه خروجی مناسب برای هر ورودی، حتی برای آنهایی که تاکنون هرگز با آنها روبرو نشده است، تولید کند. این پدیده درست شبیه نحوه یادگیری توسط مغز کودک است.

با پیشرفت شیوه‌های هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی کاربرد زیادی در پردازش سیگنال‌های پزشکی، از تحلیل سیگنال‌های ECG و EEG گرفته تا تفسیر تصاویر پزشکی و تشخیص بیماری‌ها، پیدا نموده‌اند. از تحقیقات انجام گرفته با استفاده از این شبکه‌ها، پیشرفت‌های زیادی در تشخیص عیوب مغزی در

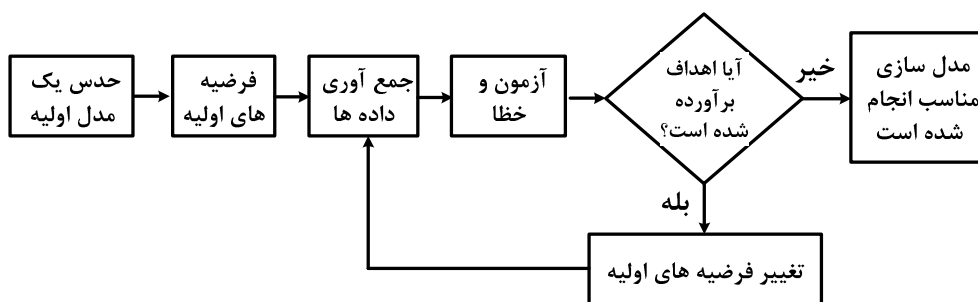
^۱. Artificial Neural Network (ANN)

بیماری‌های صرع، پارکینسون و آلزایمر اتفاق افتاده است. از شبکه‌های عصبی همچنین به‌منظور تشخیص نامنظم بودن ریتم ضربان‌های قلبی از روی ECG استفاده می‌شود. خوشبختانه با پیشرفت الگوریتم‌های مبتنی بر این شبکه‌ها، هرروز شاهد معرفی راهکارهای هوشمند کارآمدتر برای تحلیل سیگنال‌های زیستی و درمان بیماری‌ها هستیم.

۴-۳-۵ مدل‌سازی فیزیولوژی اندام‌ها

این زیرشاخه از مهندسی بیوالکتریک، به تحقیق در مورد نحوه فعالیت اندام‌های بدن، مدل‌سازی آنها و پیش‌بینی رفتار اندام‌ها حین انجام فعالیت می‌پردازد. حاصل این تحقیق، باز شدن افق‌های جدید در تولید سامانه‌های هوشمند مصنوعی است. این زمینه همچنین روش‌هایی به‌منظور کنترل و درمان بیماری‌هایی لاعلاج پیشنهاد می‌کند. مدل فیزیولوژی، تقریبی ریاضی از نحوه عملکرد اندام واقعی است. اندام‌های واقعی تقریباً همیشه پویا هستند و عملکرد آنها را می‌توان با کمک معادلات دیفرانسیل بیان نمود. از روی این معادلات، تهیه یک مدل مصنوعی به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد واقعی اندام ممکن می‌شود. شکل ۵-۱۰ گام‌های لازم به‌منظور تحقق چنین مدلی را نشان می‌دهد. اولین قدم، پیدا کردن مدل از طبیعت است که عملکردی مشابه با آن اندام زنده داشته باشد.

این مدل به صورت روابط ریاضی بیان شده و قدرت آن با جمع‌آوری داده‌ها و آزمودن توانایی آن در تولید داده‌های مشابه، ارزیابی می‌گردد. اگر مدل، خواسته‌ها را برآورده نکند باید به‌روزرسانی شود و

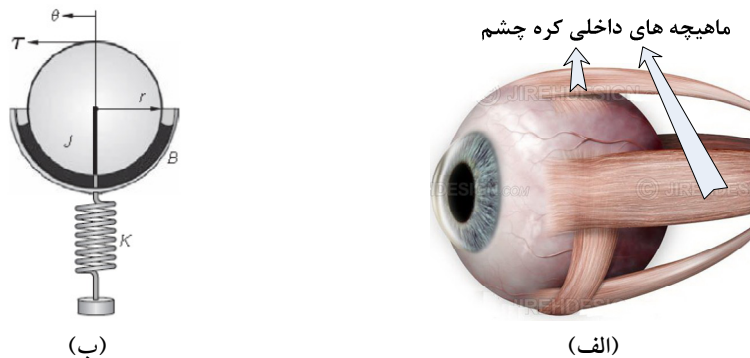


شکل ۵-۱۰ مراحل مدل‌سازی یک سیستم فیزیولوژی.

آزمایش‌های بیشتری بر روی آن انجام گیرد. این آزمایش‌ها، اطلاعات بیشتری در اختیار مدل قرار می‌دهند و حقایقی که در آزمایش‌های قبلی پنهان مانده بود را آشکار می‌کنند. فرآیند آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها تا وقتی ادامه می‌یابد که مدل کامل شود.

در گذشته، معادلات ریاضی به شکل دستی حل می‌شدند. لذا پیچیدگی مدل‌ها از حد خاصی فراتر نمی‌رفت. امروزه با امکان دسترسی به رایانه‌های دیجیتال، زبان‌های برنامه‌نویسی و نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی آسان‌تر شده است. به هر حال، اگر مدل خیلی هم پیچیده شود، تفسیر و تحلیل متغیرهای آن بسیار دشوار خواهد بود. در اینجا به عنوان یک مثال ساده، مدل سیستم حرکتی چشم را بررسی می‌کنیم. سیستم حرکت چشم یا موتور بینایی، مسئول حرکت چشم به نحوی است که تصاویر با وضوح بالا دیده شوند. هر کره چشم، سه نوع حرکت در خلاف جهت هم دارد. شکل ۵-۱۱-الف ماهیچه‌های کره چشم را نشان می‌دهد. این ماهیچه‌ها، سیستم حرکتی چشم را تشکیل می‌دهند که توسط عصب بینایی کنترل می‌شود. بیان مکانیکی مدل حرکت چشم، در شکل ۵-۱۱-ب و با استفاده از یک کره فلزی و فنر متصل به آن نمایش داده شده است و با معادله دیفرانسیل زیر بیان می‌شود.

$$J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + K\theta = \tau(t) \quad (۵-۱)$$



شکل ۵-۱۱ (الف) ماهیچه‌های داخلی کره چشم و (ب) مدل مکانیکی نحوه حرکت چشم.

در رابطه بالا، J ممان اینرسی، B اصطکاک و K سختی کره چشم هستند. همچنین $\tau(t)$ گشتاور ناشی از عضلات چشم و θ جابجایی زاویه چشم می‌باشند. اگرچه این مدل بسیار ساده است اما با استفاده از

معادله دیفرانسیل (۵-۱) می‌توان عملکرد سیستم حرکت چشم را به درستی فهمید و از آن برای رفع مشکلات بنیایی استفاده نمود.

امروزه مدل‌های پیچیده‌تری برای مدل‌سازی حرکت چشم پیشنهاد شده‌اند. برای آموختن جزئیات آنها می‌توانید به مراجع تخصصی در این زمینه مراجعه کنید.

۴-۵ انجمن‌های تخصصی مهندسی پزشکی

جامعه کنونی مهندسی پزشکی، در دهه ۱۹۵۰ میلادی و از اجتماع تعدادی پزشک علاقمند به علم الکترونیک شکل گرفت. این جامعه امروزه به یک سازمان حرفه‌ای بین‌المللی مبدل شده است. هم‌اکنون در حدود ۴۸ انجمن بین‌المللی مهندسی پزشکی در دنیا فعال هستند. حوزه فعالیت مهندسی پزشکی، بسیار متنوع است و در طول سال‌ها زیرگرایش‌های جدیدی نیز به آن اضافه شده‌اند. انجمن‌های تخصصی، در گرد هم آوردن اعضای جامعه مهندسی پزشکی نقش مهمی دارند. به کمک این انجمن‌ها، افراد می‌توانند دستاوردهای علمی و تجربه‌ها را با یکدیگر به اشتراک گذارند و از این راه، کاربردهایی از فناوری بیابند که سلامت و کیفیت زندگی انسان‌ها را بهبود بخشد.

ایالات متحده آمریکا دارای بزرگ‌ترین جامعه مهندسی پزشکی در جهان است. در تلاش برای متحد کردن اعضای این جامعه در آمریکا، این کشور اقدام به تأسیس انستیتوی آمریکایی مهندسی پزشکی و زیستی^۱ (AIMBE) در سال ۱۹۹۲ نموده است. مهم‌ترین انجمن‌های مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک که هم‌اکنون در سطح بین‌المللی فعالیت دارند، جامعه مهندسی پزشکی^۲ (BMES) و جامعه مهندسی در پزشکی و زیستی^۳ (EMBS) از زیرمجموعه‌های مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک^۴ (IEEE) می‌باشند. مؤسسه IEEE، بزرگ‌ترین سازمان بین‌المللی فعال در زمینه مهندسی برق است که تمامی رشته‌ها و گرایش‌های مرتبط را نیز پوشش می‌دهد. جامعه مهندسی پزشکی و زیستی (EMBS)، یکی از بزرگ‌ترین زیرمجموعه‌های این سازمان است که دارای ۸۰۰۰ عضو در سرتاسر دنیا می‌باشد. فعالیت اصلی EMBS، به کارگیری علوم مهندسی در کاربردهای زیستی و پزشکی می‌باشد. همه‌ساله همایش‌های متعددی

^۱ American Institute for Medical and Biological Engineering (AIMBE)

^۲ Biomedical Engineering Society (BMES)

^۳ Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS)

^۴ Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

فصل ۵: مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک / ۱۲۱

با حمایت این جامعه در سرتاسر دنیا برگزار می‌شود. نشریات اصلی منتشر شده توسط EMBS نیز عبارت از یک ماهنامه^۱، یک دوماهنامه^۲ و سه فصلنامه^۳ است. این مجموعه چندین نشریه فرعی نیز با همکاری با سایر جوامع منتشر می‌کند.

جامعه BMES در سال ۱۹۶۸ با هدف پاسخ دادن به نیازهای مشترک دو جامعه مهندسی و پزشکی تأسیس شد. هدف BMES، «ارتقای اطلاعات مهندسی پزشکی و کاربردهای آن» در جهان است که همه ساله از طریق برگزاری جلسات منظم در بهار و پاییز انجام می‌شود. جلسات خاصی نیز با همکاری مشترک EMBS با سایر جوامع مهندسی پزشکی مانند AIMEB برگزار می‌شود. جامعه BMES، یک ماهنامه تحقیقاتی، یک فصلنامه خبری و یک نشریه سالانه (شامل اطلاعات تماس افراد) منتشر می‌کند. فعالیت مستمر چنین جوامعی از مهندسی پزشکی، در پیشرفت فناوری در این زمینه حیاتی و ضروری است. لذا به همه دانشجویان محصل در رشته مهندسی پزشکی توصیه می‌شود تا در آنها عضو شده و در نشست‌ها و فعالیت‌های حرفه‌ای مرتبط شرکت کنند.

۵-۵ مسائل اخلاقی و معنوی

از آنجاکه مهندسی پزشکی با سلامت افراد سروکار دارد، باید همانند پزشکی به مسائل اخلاقی پای‌بند باشد. اگرچه فناوری در تشخیص و درمان بیماری‌ها مفید است، اما برای سلامتی انسان‌ها بی‌خطر نیز نبوده و می‌تواند تبعات اخلاقی به دنبال داشته باشد. وقتی قرار است که دستگاه‌های کمکی، میزان تنفس و تعداد ضربان قلبی فردی را تنظیم کنند، باید میزان ریسک، کیفیت زندگی آینده، حق وی در رد یا قبول یک شیوه درمانی به‌خصوص و یا شرکت در آزمایش‌های تحقیقاتی به درستی مشخص شوند. با پیشرفت فناوری، ابعاد معنوی مراقبت و درمان نیز پیچیده‌تر می‌شوند و محدودیت‌ها و قوانین جدیدی برای جامعه مهندسی پزشکی تدوین می‌شوند. درحقیقت، بدون رضایت‌مندی بیمار ثبت و بهره‌برداری از اطلاعات و سیگنال‌های حیاتی وی امری غیراخلاقی است. مسائل اخلاقی چگونگی انجام آزمایشات بر روی حیوانات را نیز در برمی‌گیرند و باید در جامعه نظارت دقیق بر رعایت آنها انجام شود.

¹ IEEE Transactions on Biomedical Engineering

² IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine

³ IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, and IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, and Transactions on Nanobioscience

۵-۶ نقش رایانه در مهندسی پزشکی

سیگنال‌ها و تصاویر دریافت شده از دستگاه‌های ابزار دقیق را می‌توان بر روی رایانه ذخیره نمود. لذا، کلیه فرآیندهای مربوط به پردازش سیگنال از حذف نویز و آرتیفکت گرفته تا تشخیص بیماری‌ها قابل انجام توسط رایانه و نرم‌افزارهای پردازشی است. نرم‌افزار MATLAB، ساده‌ترین نرم‌افزار به‌منظور انجام هرگونه پردازش بر روی داده‌ها است. یک مهندس پزشکی می‌تواند از بسته‌های کاربردی از پیش تهیه‌شده این نرم‌افزار برای تحلیل داده‌ها بهره بگیرد. اگرچه زبان‌های برنامه‌نویسی بسیار قوی وجود دارند که امکان تولید بسته‌های کاربرد بهتر را نیز فراهم می‌کنند، اما وجود جعبه‌ابزارهای مختص پردازش سیگنال در MATLAB، آن را برای مهندسان پزشکی جذاب نموده است.

نرم‌افزار MATLAB در مدل‌سازی سامانه‌ها نیز بسیار قدرتمند است. این نرم‌افزار با امکاناتی که به‌منظور حل معادلات دیفرانسیل دارد، آزمایش فرضیه‌های مختلف در خصوص چگونگی پیاده‌سازی سیستم‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. محیط شبیه‌ساز مجازی (Simulink) از نرم‌افزار MATLAB، این امکان را فراهم می‌کند که کاربر بدون برنامه‌نویسی، مدل‌های مختلف را به‌سرعت پیاده‌سازی نماید. با استفاده از این نرم‌افزار همچنین می‌توان فرآیندهای زیستی را مدل‌سازی نمود و راهکارهای مختلفی برای کنترل و مهار بیماری‌ها پیشنهاد نمود.

نرم‌افزار OPENCV، یک نرم‌افزار قدرتمند دیگر برای مهندسان پزشکی است که از آن می‌توانند برای پردازش تصاویر استفاده کنند. با استفاده از چنین نرم‌افزارهایی، یک مهندس پزشکی می‌تواند نرم‌افزارهایی برای پزشکان تولید کند که در تشخیص و انتخاب نحوه درمان راهگشا باشند.

۵-۷ حوزه‌های فعالیت مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

در این قسمت، به برخی از حوزه‌های تحقیقاتی اصلی که هم‌اکنون در ایران و جهان برای فعالیت یک مهندس بیوالکتریک وجود دارند، اشاره می‌کنیم.

- ۱- نوشتن نرم‌افزار برای تحلیل داده‌های حیاتی؛
- ۲- پیشنهاد و پیاده‌سازی راهکارهای جدید پردازش تصاویر پزشکی برای استخراج بیشترین اطلاعات؛
- ۳- تولید سامانه‌های سخت‌افزاری خبره برای تشخیص و درمان بیماری‌ها به‌خصوص از روی تصاویر؛
- ۴- ساخت سیستم‌های قابل حمل ثبت سیگنال و مقاوم در برابر نویز؛

۵- تحلیل شرایط خطر دستگاه‌ها برای ایمنی و کارآیی بیشتر آنها؛

۶- طراحی حسگرهای زیستی - پزشکی؛

۷- طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌های ارتباط از راه دور برای پایش شرایط بیماران؛

۸- طراحی سیستم‌های کنترل و مدیریت مصرف داروها؛

۹- مدل‌سازی فیزیولوژی بدن انسان؛

۱۰- طراحی وسایل ارتباطی برای افراد معلول.

کاربردهای تحقیقاتی مهندسی بیوالکتریک، محدود به فهرست بالا نیست. فهرست واقعی فعالیت‌های ممکن برای یک مهندس پزشکی، به محیطی بستگی دارد که در آن کار می‌کند. مهندسان بیوالکتریک، در مورد عملکرد درست همه تجهیزات موجود در درمانگاه‌ها و نیز در مورد آموزش نکات ایمنی و چگونگی استفاده بهینه از فناوری به کادر پزشکی، مسئول هستند. شرکت‌هایی که در این زمینه‌ها در ایران فعالیت دارند تقریباً نوپا هستند. لذا یک مهندس پزشکی موفق خیلی زود می‌تواند با دقت، ریزینی و مهارت جای خود را در بازار پیدا کند.

مسائل فصل پنجم

- ۵-۱- انواع مهم سیگنال‌های حیاتی را نام ببرید. مهندسان بیوالکتریک عمدتاً با کدام دسته سروکار دارند؟
- ۵-۲- مشخصات اصلی سیگنال ECG را شرح دهید.
- ۵-۳- الگوهای اصلی موجود در سیگنال‌های مغزی را نام ببرید.
- ۵-۴- زیرشاخه‌های مهندسی بیوالکتریک را بیان نموده و در مورد حوزه فعالیت هر کدام توضیح دهید.
- ۵-۵- در مورد الکترودها و مبدل‌های موجود در مهندسی پزشکی توضیح داده و از هر کدام چند مورد را نام ببرید.
- ۵-۶- آرتیفکت و نویز را تعریف کنید.
- ۵-۷- چه روش‌هایی برای حذف نویز از یک سیگنال حیاتی وجود دارد؟ توضیح دهید.
- ۵-۸- مفهوم نمایش سیگنال در حوزه‌های زمان و فرکانس چیست؟ توضیح دهید.
- ۵-۹- مهندسان بیوالکتریک از شبکه‌های عصبی به چه منظور و چگونه استفاده می‌کنند؟
- ۵-۱۰- روش‌های مختلف تصویربرداری را بیان کنید.
- ۵-۱۱- سه روش MRI، اولتراسوند و CT را با یکدیگر مقایسه کنید.
- ۵-۱۲- از انجمن‌های تخصصی فعال در زمینه مهندسی پزشکی چند مورد را نام ببرید.
- ۵-۱۳- دو نرم‌افزار مهم مورد استفاده در تخصص بیوالکتریک را نام برده و در مورد هر یک توضیح دهید.
- ۵-۱۴- چهار مورد از حوزه‌های تحقیقاتی فعالیت برای مهندسان بیوالکتریک در ایران را نام ببرید.