

بسم الله الرحمن الرحيم

I مدارهای اجزای

(تحلیل مدارهای خطی)

نویسنده: سعید وحدت پناه



انتشارات قدیس

www.Qeddiss.com

پیش‌گفتار

رشته مهندسی برق (Electrical Engineering) یکی از مهم‌ترین شاخه‌های مهندسی است. برخی از زمینه‌های مرتبط با این رشته عبارتند از: الکتریسته، روشنایی، انتقال برق، الکترونیک، ارتباطات. زمینه‌های جدید دیگری هم در سالهای اخیر به مهندسی برق افزوده شده‌اند که می‌توان به رباتیک و هوش مصنوعی اشاره نمود. رشته مهندسی کامپیوتر را هم باید یکی از شاخه‌های اولیه مهندسی برق دانست.

زندگی امروز بشر به شدت با مهندسی برق گره خورده است. چنانچه به اطراف خود دقت کنیم با وسایل و دستگاه‌های مختلف برقی، الکترونیکی و مخابراتی روبرو می‌شویم که انسان قرن بیست‌ویکم به آنها وابسته شده و زندگی بدون آنها بسیار سخت خواهد بود.

گرچه یکی از موفقیت‌های مهم بشر در قرن بیستم به سفر به فضا بود اما قرن بیستم را عصر ارتباطات نیز نامیدند. اکنون هم در قرن بیست و یکم شاهد معجزه ارتباطات هستیم. گوشی‌ها و ساعت‌های هوشمند که دستمایه فیلم‌های تخیلی نیمه دوم قرن بیستم بودند اکنون به‌طور گسترده در دسترس مردم قرار گرفته است.

برخی از تعاریف قدیمی هم‌اکنون دچار دگرگونی شده‌اند. این بدیدم در آینده نزدیک برای مفاهیم دیگری نیز اتفاق خواهد افتاد. عکاسی و فیلمبرداری با مفهوم ۳۰ سال قبل خود قابل مقایسه نیستند. بسیاری از جوانان فعلی فیلم دوربین عکاسی را ندیده‌اند. همه به سرعت در حال دیجیتالی شدن است.

فیلمبرداری از یک تکنیک حرفه‌ای به فعالیتی روزمره تبدیل شده و امروز برای فیلمبرداری دیگر نیاز به دوربین فیلمبرداری نیست زیرا تمام گوشی‌های هوشمند مجهز به دوربین فیلمبرداری هستند و برای ذخیره فایل خود به فیلم هم نیاز ندارند.

شاید در آینده نه چندان دور مفهوم چاپ هم به موزه تاریخ بپیوندد. تعداد کتابهایی که فقط به صورت الکترونیکی (Ebook) توزیع می‌شوند در حال افزایش است و برخی از معتبرترین روزنامه‌های دنیا چاپ کاغذی خود را هم‌اکنون متوقف کرده یا بزودی متوقف خواهند کرد.

در اکثر کشورها سایت‌های ساده‌ای توسط جوانان راه‌اندازی شده‌اند که نقش خبرگزاری‌های بزرگ را ایفا می‌کنند و تمام این تغییرات در راستای پیشرفت‌ها در رشته‌های مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر حاصل شده است.

اما سه پیشرفت بزرگ که در راه است ممکن است باعث تغییر جدی در زندگی بشر در قرن بیست و یکم گردد. گسترش نیروگاه‌های خورشیدی در حوزه انرژی، خودروهای برقی و هیبریدی در عرصه استفاده از سوخت‌های فسیلی و استفاده از دیودهای نورانی LED در حوزه روشنایی که باعث صرفه‌جویی در انرژی می‌شود چه بسا دیر یا زود سلطه نفت بر انرژی را متزلزل نموده و باعث تغییرات ژئوپولیتیکی در جغرافیای سیاسی جهان شود.

رشته برق مرهون تلاش دانشمندان بزرگی همچون اورستد، فارادی، آمپر، کرشهوف، گوس، ولتا، اهم، ادیسون، تسلا، ماکسول است. در کشور ایران نیز اساتید یزدرگی زندگی خود را وقف گسترش و نمو این رشته نموده‌اند.

هدف از نگارش این کتاب انتظارات تجارب سال‌ها تدریس درس مدارهای الکتریکی ۱ در دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور به دانشجویان رشته‌های مهندسی برق و کامپیوتر است. امیدوارم با تهیه این کتاب گام کوچکی در آموزش هر چه بهتر جوانان ایران زمین برداشته باشم. در اینجا لازم است مراتب سپاسگزاری خود را از کلیه اساتیدم در دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشکده فنی دانشگاه تهران ابراز نمایم.

درصد هستم تا در آینده نزدیک نسخه book این کتاب در اختیار دانشجویان و علاقمندان قرار گیرد.



سعید وحدت‌پناه

۱۳۹۴ هجری خورشیدی

Saeed.vahdatpanah@gmail.com

فهرست مطالب

فصل ۱

مقدمه ۱

فصل ۲

تعاریف اصلی در مدارهای الکتریکی ۳

۱-۲ مقدمه ۳

۲-۲ مفاهیم اولیه ۴

۳-۲ مقاومت ۶

۳-۲-۱ مقاومت خطی تغییرناپذیر با زمان ۷

۳-۲-۲ مقاومت خطی تغییرپذیر با زمان ۸

۳-۲-۳ مقاومت غیر خطی ۹

۳-۲-۴ اتصال کوتاه ۹

۳-۲-۵ مدار باز ۹

۴-۲ منابع ۱۰

۴-۲-۱ منابع مستقل ولتاژ ۱۰

۴-۲-۲ منابع مستقل جریان ۱۰

۴-۲-۳ منابع وابسته ۱۱

۴-۲-۴ منابع واقعی ولتاژ و جریان ۱۲

۵-۲ جهت جریان الکتریکی و علامت ولتاژ عناصر مدار ۱۳

۶-۲ مفاهیم شبکه ۱۷

۷-۲ قوانین کرشهوف ۱۸

۷-۲-۱ قانون جریان کرشهوف ۱۸

۷-۲-۲ قانون ولتاژ کرشهوف ۲۰

۲۳.....	۲ - ۸ توان در منابع و مقاومت‌ها.....
۲۵.....	۲ - ۹ مقاومت‌های سری و موازی.....
۲۷.....	۲ - ۱۰ ترکیب‌های ستاره و مثلث.....
۲۹.....	۲ - ۱۰ - ۱ تبدیل مثلث به ستاره.....
۳۱.....	۲ - ۱۰ - ۲ تبدیل ستاره به مثلث.....
۳۵.....	۲ - ۱۱ منابع سری و موازی.....
۳۹.....	۲ - ۱۲ مقاومت داخلی منابع ولتاژ و منابع جریان ایده‌آل.....
۴۰.....	۲ - ۳ تقسیم ولتاژ و تقسیم جریان.....
۴۴.....	مسائل فصل دوم.....

فصل ۳

۴۹.....	قضایای پایه‌ای مدارهای الکتریکی.....
۴۹.....	۳ - ۱ مقدمه.....
۵۰.....	۳ - ۲ خاصیت خطی بودن.....
۵۳.....	۳ - ۳ قضیه جمع آثار.....
۵۷.....	۳ - ۴ تبدیل منابع.....
۵۷.....	۳ - ۴ - ۱ منبع ولتاژ ایده‌آل.....
۵۸.....	۳ - ۴ - ۲ منبع ولتاژ واقعی.....
۶۱.....	۳ - ۴ - ۳ منبع جریان ایده‌آل.....
۶۱.....	۳ - ۴ - ۴ منبع جریان واقعی.....
۶۳.....	۳ - ۴ - ۵ معادل بودن منابع ولتاژ واقعی و منابع جریان واقعی.....
۶۵.....	۳ - ۵ قضیه حداکثر توان انتقالی.....
۷۰.....	۳ - ۶ تقسیم یک منبع ایده‌آل به چند منبع.....
۷۱.....	۳ - ۶ - ۱ تقسیم یک منبع ولتاژ به چند منبع.....
۷۶.....	۳ - ۶ - ۲ تقسیم یک منبع جریان به چند منبع.....
۷۹.....	مسائل فصل سوم.....

فصل ۴

روشهای تحلیل مدارهای مقاومتی..... ۸۳

۸۳.....	۴ - ۱ مقدمه.....
۸۴.....	۴ - ۲ تحلیل گره.....
۸۴.....	۴ - ۲ - ۱ تحلیل گره برای مدارهای با دو گره و بدون منبع ولتاژ.....
۸۷.....	۴ - ۲ - ۲ تحلیل گره برای مدارهای با سه گره و بدون منبع ولتاژ.....
۹۱.....	۴ - ۲ - ۳ تحلیل گره برای مدار با یک منبع ولتاژ زمین شده.....
۹۳.....	۴ - ۲ - ۴ تحلیل گره برای مدارهای با منبع ولتاژ بین دو گره.....
۹۶.....	۴ - ۳ تحلیل مش.....
۹۷.....	۴ - ۳ - ۱ تحلیل مدارهای شامل دو مش بدون منبع جریان.....
۹۹.....	۴ - ۳ - ۲ تحلیل مدارهای شامل سه مش بدون منبع جریان.....
۱۰۱.....	۴ - ۳ - ۳ تحلیل مش با وجود منبع جریان فقط در یک مش.....
۱۰۲.....	۴ - ۳ - ۴ تحلیل مش با وجود منبع جریان بین دو مش.....
۱۰۳.....	۴ - ۴ یک قطبی‌ها و مشخصه آنها.....
۱۰۶.....	۴ - ۵ قضیه تونن.....
۱۱۸.....	۴ - ۶ قضیه نورتون.....
۱۱۹.....	مسائل فصل چهارم.....

فصل ۵

خازن، سلف و تقویت‌کننده عملیاتی در مدارهای الکتریکی..... ۱۲۳

۱۲۳.....	۵ - ۱ مقدمه.....
۱۲۴.....	۵ - ۲ خازن.....
۱۲۵.....	۵ - ۲ - ۱ خازن خطی تغییر ناپذیر با زمان.....
۱۲۷.....	۵ - ۲ - ۲ خازن خطی تغییر پذیر با زمان.....
۱۲۷.....	۵ - ۲ - ۳ خازن غیرخطی.....

۱۲۸.....	۵-۳ توابع متداول در مدارهای الکتریکی
۱۲۸.....	۵-۳-۱ مقدار ثابت یا DC
۱۲۹.....	۵-۳-۲ تابع سینوسی یا AC
۱۲۹.....	۵-۳-۳ تابع پله واحد
۱۳۵.....	۵-۳-۴ تابع شیب واحد
۱۳۶.....	۵-۳-۵ تابع پالس واحد
۱۳۸.....	۵-۳-۶ تابع ضربه واحد
۱۴۱.....	۵-۳-۷ تابع دوبلت
۱۴۲.....	۵-۱ انجام عملیات ریاضی بر روی شکل موجها
۱۴۴.....	۵-۵ پاسخ خازن
۱۴۴.....	۵-۵-۱ پاسخ خازن به تابع پله واحد
۱۴۵.....	۵-۵-۲ پاسخ خازن به شیب واحد
۱۴۶.....	۵-۵-۳ پاسخ خازن به ضربه واحد
۱۴۷.....	۵-۶ سری و موازی بستن خازنها
۱۴۹.....	۵-۷ خازن در مدار DC
۱۵۰.....	۵-۷-۱ اتصال خازن شارژ شده به یک خازن دشارژ در حالت بار ثابت
۱۵۱.....	۵-۷-۲ اتصال خازن شارژ شده به یک خازن دشارژ در حالت ولتاژ ثابت
۱۵۱.....	۵-۷-۳ تقسیم ولتاژ بین دو خازن سری
۱۵۲.....	۵-۸ سلف
۱۵۳.....	۵-۸-۱ سلف خطی تغییر ناپذیر با زمان
۱۵۴.....	۵-۸-۲ سلف خطی تغییر پذیر با زمان
۱۵۵.....	۵-۸-۳ سلف غیر خطی
۱۵۶.....	۵-۹ پاسخ سلف
۱۵۶.....	۵-۹-۱ پاسخ سلف به تابع پله واحد
۱۵۷.....	۵-۹-۲ پاسخ سلف به شیب واحد
۱۵۷.....	۵-۹-۳ پاسخ سلف به ضربه واحد
۱۵۹.....	۵-۱۰ سری و موازی بستن سلفها
۱۶۱.....	۵-۱۱ سلف در مدار DC

۱۶۳.....	۱۲-۵ دوگانی سلف و خازن
۱۶۴.....	۱۲-۵ تقویت کننده عملیاتی
۱۶۵.....	۱۳-۵ ۱ مدار معادل تقویت کننده عملیاتی در ناحیه خطی
۱۶۷.....	۱۳-۵ ۲ تقویت کننده معکوس کننده
۱۶۸.....	۱۳-۵ ۳ تقویت کننده غیر معکوس کننده
۱۶۹.....	۱۳-۵ ۴ تعقیب کننده ولتاژ یا بافر
۱۷۰.....	۱۳-۵ ۵ انتگرال گیر
۱۷۱.....	۱۳-۵ مشش گیر
۱۷۲.....	مسائل فصل پنج

فصل ۶

۱۷۵..... مدارهای مرتبه اول

۱۷۵.....	۱-۶ مقدمه
۱۷۶.....	۲-۶ پاسخ ورودی صفر مدار RC
۱۸۳.....	۳-۶ پاسخ ورودی صفر مدار RL
۱۸۸.....	۴-۶ پاسخ حالت صفر مدار RC
۱۹۳.....	۵-۶ پاسخ گذرا و پاسخ دائمی
۱۹۹.....	۶-۶ پاسخ حالت صفر مدار RL
۲۰۴.....	۷-۶ پاسخ کامل مدار مرتبه اول
۲۰۸.....	۸-۶ تعیین پاسخ مدارهای مرتبه اول به کمک مقدار اولیه و مقدار نهایی
۲۱۶.....	۹-۶ مدار مرتبه اول با دو ثابت زمانی
۲۱۹.....	۱۰-۶ پاسخ پله
۲۲۱.....	۱۱-۶ پاسخ پالس
۲۲۴.....	۱۲-۶ پاسخ ضربه
۲۲۸.....	۱۳-۶ رابطه بین پاسخ پله و پاسخ ضربه
۲۳۶.....	مسائل فصل ششم

فصل ۷

مدارهای مرتبه دوم ۲۳۹

۲۳۹.....	۱ - ۷ مقدمه
۲۴۰.....	۲ - ۷ پاسخ ورودی صفر مدار RLC موازی
۲۵۴.....	۳ - ۷ پاسخ ورودی صفر مدار RLC سری
۲۵۶.....	۴ - ۷ پیم کیفیت مدار Q
۲۵۷.....	۵ - ۷ پاسخ پله مدار RLC موازی (بدون مقادیر اولیه)
۲۶۲.....	۶ - ۷ پاسخ پله مدار RLC سری (بدون مقادیر اولیه)
۲۶۵.....	۷ - ۷ پاسخ سربه مدار RLC موازی (بدون مقادیر اولیه)
۲۶۸.....	مسائل فصل هفتم

فصل ۸

ورودی سینوسی و فیزوری ۲۷۱

۲۷۱.....	۱ - ۸ مقدمه
۲۷۲.....	۲ - ۸ مشخصات توابع سینوسی
۲۷۴.....	۳ - ۸ پاسخ حالت صفر مدار RC با ورودی سینوسی
۲۷۷.....	۴ - ۸ اعداد مختلط و خواص بخش حقیقی آنها
۲۸۰.....	۵ - ۸ نمایش یک تابع سینوسی به کمک یک فیزور (Phasor)
۲۸۴.....	۶ - ۸ کاربرد روش فیزوری در یافتن جواب خاص معادله دیفرانسیل مدارهای با ورودی سینوسی
۲۸۷.....	۷ - ۸ پاسخ کامل به ورودی سینوسی
۲۹۲.....	۸ - ۸ روابط فیزوری
۲۹۲.....	۱ - ۸ - ۸ روابط فیزوری مقاومت
۲۹۳.....	۲ - ۸ - ۸ روابط فیزوری سلف
۲۹۵.....	۳ - ۸ - ۸ روابط فیزوری خازن

۲۹۶.....	۸-۹ قوانین کرشهوف در مدارهای باورودی سینوسی
۲۹۶.....	۸-۹-۱ KVL در حوزه فیزور
۲۹۷.....	۸-۹-۲ KCL در حوزه فیزور
۲۹۸.....	۸-۱۰ امپدانس و ادمیتانس
۳۰۷.....	مسائل فصل هشتم

فصل ۹

تحلیل مدارهای باورودی سینوسی..... ۳۰۹

۳۰۹.....	۹-۱ مقدمه
۳۰۹.....	۹-۲ گره و مش در حوزه فیزور
۳۱۶.....	۹-۳ تقسیم ولتاژ و تقسیم جریان در حوزه فیزور
۳۱۶.....	۹-۳-۱ تقسیم ولتاژ در حوزه فیزور
۳۱۸.....	۹-۳-۲ تقسیم جریان در حوزه فیزور
۳۲۱.....	۹-۴ قضایای پایه‌ای در حوزه فیزور
۳۲۱.....	۹-۴-۱ تبدیل منابع در حوزه فیزور
۳۲۲.....	۹-۴-۲ قضیه تونن در حوزه فیزور
۳۲۳.....	۹-۴-۳ قضیه نورتون در حوزه فیزور
۳۲۳.....	۹-۴-۴ قضیه حداکثر توان انتقالی در حوزه فیزور
۳۲۵.....	۹-۵ نمودار فیزوری
۳۲۶.....	۹-۵-۱ نمودار فیزوری مقاومت
۳۲۶.....	۹-۵-۲ نمودار فیزوری سلف
۳۲۶.....	۹-۵-۳ نمودار فیزوری خازن
۳۲۸.....	۹-۶ تابع شبکه و پاسخ فرکانسی
۳۳۲.....	۹-۷ مدارهای تشدید
۳۳۲.....	۹-۷-۱ مدار تشدید موازی
۳۳۷.....	۹-۷-۲ مدار تشدید سری

۳۴۰.....	۸ - ۹ توان متوسط و مقادیر rms
۳۴۰.....	۹ - ۸ - ۱ توان لحظه‌ای
۳۴۲.....	۹ - ۸ - ۲ توان متوسط
۳۴۳.....	۹ - ۸ - ۳ مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان
۳۴۴.....	۹ - ۸ - ۴ مقدار مؤثر تابع سینوسی
۳۴۵.....	مسائل فصل نهم

www.ketab.ir

مقدمه

یکی از اسامی انسان‌های دینه‌ساز ابزارساز است. انسان ابزارساز با ضربه‌های متعدد به یک سنگ، از آن ابزاری برای شکار و پریدن گوشت حیوانات می‌ساخت. امروز هم انسان همچنان ابزار می‌سازد ولی ابزارها بسیار پیشرفته‌تر هستند.

امروزه بسیاری از دستگاه‌ها و وسایل مورد استفاده انسان شامل یک بخش الکترونیکی هستند. بسیاری از تجهیزات کاملاً الکتریکی و الکترونیکی هستند مانند تلویزیون، تلفن همراه و کامپیوتر. علاوه بر آن اکنون دیگر کمتر دستگاه مکانیکی وجود دارد که دارای بخش‌های الکترونیکی نباشد. حتی اتومبیل‌ها که در ابتدای وارد شدن به بازار فقط از بخش‌های مکانیکی تشکیل می‌شدند اکنون به بخش‌های الکترونیکی تجهیز می‌شوند.

هر دستگاه الکترونیکی شامل حداقل یک یا چند مدار الکترونیکی است. مدار الکترونیکی مجموعه‌ای از تعدادی قطعات است که بر روی یک مدار چاپی به یکدیگر متصل شده‌اند.



شکل (۱-۱): مدار الکترونیکی ساده