



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مدارهای الکتریکی

شامل ۱۰۰ مسئله حل شده

نویسنده:

Mahmood Rezaei & Joseph A. Edminister

ترجمه

دکتر محمد صادق ابریشیان

استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چاپ پنجم مدارهای الکتریکی سری شومز نشان‌دهنده ویرایش و بروز رسانی بموقع مواد درسی است که وسعت دید خود را افزایش داده تا مشابه سطح تدریس امروز دوره کارشناسی شود. این کتاب بخش‌های جدیدی در زمینه روش تحلیل مدارهای دودهانه مقاومتی و افزارها (شامل عناصر تکه تکه خطی)، مدارهای شامل تقویت‌کننده‌های عملیاتی، نمودارهای بود^۱، فیلترهای مرتبه اول و دوم و نحوه ساخت آن‌ها با مدارهای فعال، و شبیه‌سازی اسپایس^۲ مدارهای شامل تقویت‌کننده عملیاتی عرضه کرده است.

البته، هدف اولیه کتاب و رویکرد اساسی ویرایش‌ها قبلی حفظ شده است. این کتاب برای استفاده بعنوان کتاب درسی یا اولین درس در تحلیل مدار یا بعنوان مکمل دروس استاندارد که می‌توان برای دانشجویان مهندسی برق، و همین‌طور دانشجویان فناوری و مهندسی استفاده کرد تدوین شده است. تاکید ما بر قوانین پایه، قضایا و روش حل مسائلی است که در اکثر دروس مشترک است.

این کتاب به هفده فصل تقسیم شده و تمام زمینه‌های نظری و مطالعاتی را شامل می‌شود. فصول با تعاریف، اصول و قضایای مهم همراه با مثال‌های روشن‌گر شروع می‌شود. سپس با مجموعه‌ای از مسائل حل شده و تکمیلی خاتمه می‌یابد. مسائل تمام سطوح مختلف، از ساده تا مشکل را دربر می‌گیرد. برخی مسائل روی نکات کلیدی تکیه دارد، تا دانشجویان را جهت اعمال بهتر اصول اساسی آماده کند. مسائل تکمیلی متعدد و به خوانندگان این فرصت را می‌دهد که مسائل را تمرین کنند و در حل مسائل ماهر شوند. ضمناً جواب هم برای مسائل تکمیلی تدارک دیده شده است.

کتاب با تعاریف بنیادی شروع و عناصر مدار شامل منابع وابسته، قوانین مدار و قضایا، و روش‌های تحلیل از قبیل روش‌های ولتاژ گر، و جریان حلقه است. این قضایا و روش‌ها را ابتدا برای مدارهای مقاومت dc اعمال کرده و سپس برای مدارهای RLC با استفاده از امپدانس و فرکانس مختلط بسط و گسترش می‌دهیم. مثال‌های تقویت‌کننده‌های عملیاتی (یا آپ امپ) و مسائل در فصل پنجم بدقت انتخاب شده تا بر راحتی درک، اما دانشجویان را از نظر عملی برای دروس مهم آینده آماده کند. موضوع شکل‌موج‌ها و سینکال‌ها^۳ فصلی جداگانه آورده شده است تا آگاهی و درک دانشجویان را در کاربرد مدل‌های سینکال افزایش دهد.

رفتار مدار از قبیل پاسخ حالت ماندگار و گذرا به ورودی پله را در فصل هفتم برای مدارهای مرتبه اول بحث و مطالعه شده است. سپس این مطلب برای مدارهای با مرتبه بالاتر گسترش یافته و فرکانس مختلط در فصل هشتم معرفی شده است. تحلیل فیزیوری، حالت ماندگار سینوزوئیدال، توان، ضریب توان، و مدارهای چند فاز را کاملاً بررسی نموده‌ایم. توابع شبکه، و تبدیلات را بطور مبسوط پوشش داده‌ایم. کاربرد اسپایس و پی‌اسپایس در تحلیل مدار در فصل پانزدهم معرفی شده است. معادلات مدار با استفاده از معادلات دیفرانسیل کلاسیک و تبدیل لاپلاس که مقایسه را آسانتر می‌کند حل شده است. سری فوری و تبدیل فوری و کاربرد آنها در تحلیل مدار در فصل هفدهم آورده شده است. سرانجام، در دو پیوست، سامانه اعداد مختلط، ماتریس‌ها و دترمینان تدارک دیده شده است. این کتاب را به دانشجویانمان و دانشجویانمان، از کسانی که خوب درس دادن

^۱ Bode diagrams^۲ Spice simulation

را آموختیم تقدیم می‌کنیم. آن‌ها بودند که بمیزان وسیع امکان خرسندی و پاداش تدریس را
بما دادند. ضمناً از همسران خود زهرا نحوی و نینا ادمینستر برای ترغیت و پشتیبانی تشکر
می‌نمائیم.

محمود نحوی
ژوزف ادمینستر

www.ketab.ir

فهرست مطالب

۱۰	پیشگفتار	۱۰
۲۰	تقدیر و تشکر	۲۰
۱	مقدمه	۳
۱.۱	کمیات الکتریکی و واحدهای SI	۳
۲.۱	نیرو، کار، توان	۴
۳.۱	بار الکتریکی، جریان	۵
۴.۱	پتانسیل الکتریکی	۶
۵.۱	انرژی و توان الکتریکی	۷
۶.۱	توابع ثابت و متغیر	۷
	مسائل	۷
۲	مفاهیم مدار	۱۱
۱.۲	عناصر فعال و غیرفعال	۱۱
۲.۲	علائم قراردادی	۱۲
۳.۲	روابط ولتاژ-جریان	۱۳
۴.۲	مقاومت	۱۳
۵.۲	خودالقائی	۱۵
۶.۲	ظرفیت	۱۶
۷.۲	نمودار مداری	۱۷
۸.۲	مقاومت‌های غیر خطی	۱۷
	مسائل	۱۹
۳	قوانین مدار	۳۱
۱.۳	مقدمه	۳۱
۲.۳	قانون ولتاژ کیرشهف	۳۱
۳.۳	قانون جریان کیرشهف	۳۲
۴.۳	اتصال سری عناصر مدار	۳۲
۵.۳	اتصال موازی عناصر مدار	۳۴
۶.۳	تقسیم ولتاژ	۳۵
۷.۳	تقسیم جریان	۳۶
	مسائل	۳۷

۴	روش های تحلیل	۴۷
۱.۴	روش جریان شاخه ای	۴۷
۲.۴	روش جریان حلقه ای	۴۸
۳.۴	ماتریس و دترمینان	۴۹
۴.۴	روش ولتاژ گره	۵۰
۵.۴	اختصار شبکه	۵۲
۶.۴	مقاومت ورودی	۵۳
۷.۴	مقاومت خروجی	۵۴
۸.۴	مقاومت انتقالی	۵۵
۹.۴	خاصیت هم پاسخ	۵۵
۱۰.۴	جمع اثرها	۵۶
۱۱.۴	قد ای توین و نورتن	۵۷
۱۲.۴	قبیه انتقال توان بیشینه	۵۹
۱۳.۴	دستگاه ها و مدارهای دو پایانه	۶۰
۱۴.۴	اتصال مدارها - مقاومتی دو پایانه ای	۶۰
۱۵.۴	مدل سیمکابل ها - کوچک مدار مقاومتی غیرخطی	۶۱
	مسائل	۶۲

۵	تقویت کننده ها و تقویت کننده های عملیاتی	۸۹
۱.۵	مدل تقویت کننده	۸۹
۲.۵	بازخورد در مدار تقویت کننده	۹۰
۳.۵	تقویت کننده های عملیاتی	۹۲
۴.۵	تحلیل مدارهای شامل تقویت کننده های عملیاتی	۹۵
۵.۵	مدار وارونگر	۹۷
۶.۵	مدار جمع کننده	۹۷
۷.۵	مدار ناوارونگر	۹۸
۸.۵	دنباله رو ولتاژ	۱۰۰
۹.۵	تقویت کننده های تفاضلی و دیفرانسیلی	۱۰۱
۱۰.۵	مدارهای با چندین تقویت کننده عملیاتی	۱۰۲
۱۱.۵	مدارهای انتگرال گیر و مشتق گیر	۱۰۴
۱۲.۵	کامپیوترهای آنالوگ	۱۰۷
۱۳.۵	فیلتر پائین گذر	۱۰۹
۱۴.۵	دسی بل (dB)	۱۰۹
۱۵.۵	تقویت کننده عملیاتی واقعی	۱۱۰
۱۶.۵	مدل یک تقویت کننده عملیاتی ساده	۱۱۲
۱۷.۵	مقایسه کننده	۱۱۳
۱۸.۵	مبدل آنالوک به دیجیتال لحظه ای	۱۱۵
۱۹.۵	خلاصه ای از بازخورد در مدار تقویت کننده عملیاتی	۱۱۶
	مسائل	۱۱۶

۶	شکل موج ها و سیگنال ها	۱۴۳
۱.۶	مقدمه	۱۴۳
۲.۶	توابع متناوب	۱۴۳
۳.۶	توابع سینوزوئیدال	۱۴۵
۴.۶	انتقال زمانی و انتقال فازی	۱۴۷

۱۴۸	ترکیبی از توابع متناوب	۵۶
۱۵۰	مقادیر متوسط و موثر (RMS)	۶۶
۱۵۲	توابع غیرمتناوب	۷۶
۱۵۳	تابع تک پله‌ای	۸۶
۱۵۴	تابع تک ضربه‌ای	۹۶
۱۵۷	تابع نمایی	۱۰۶
۱۶۰	سینوزوئید میراشونده	۱۱۶
۱۶۰	سیگنال‌های تصادفی	۱۲۶
۱۶۲	مسائل	

۷ مدارهای مرتبه اول

۱۷۵	مقدمه	۱۷
۱۷۵	تخمین خزن درون مقاومت	۲۷
۱۷۵	ولتاژ dc در دوسر یک خازن	۳۷
۱۷۷	مدار RC بدین معنی	۴۷
۱۷۸	جریان dc در یک سیم پیچ	۵۷
۱۸۰	نگاهی دیگر بر تابع نمایی	۶۷
۱۸۱	مدارهای مرتبه اول مختلط RC و RL	۷۷
۱۸۳	حالت ماندگار DC در سیم پیچ‌ها و خازن‌ها	۸۷
۱۸۵	گذر در زمان کلیدزنی	۹۷
۱۸۷	پاسخ مدارهای مرتبه اول بیک پالس	۱۰۷
۱۸۸	پاسخ ضربه مدارهای RC و RL	۱۱۷
۱۹۰	خلاصه‌ای از پاسخ‌های پله‌ای و ضربه‌ای در مدارهای RC و RL	۱۲۷
۱۹۱	پاسخ مدارهای RC و RL به تحریک‌های نمایی نهان	۱۳۷
۱۹۲	پاسخ مدارهای RC و RL به تحریک‌های سینوسی ناهمبندی	۱۴۷
۱۹۳	خلاصه‌ای از پاسخ اجباری مدارهای مرتبه اول	۱۵۷
۱۹۴	مدارهای فعال مرتبه اول	۱۶۷
۱۹۴	مسائل	

۸ مدارهای مرتبه بالاتر و فرکانس مختلط

۲۱۷	مقدمه	۱۸
۲۱۷	مدار سری RLC	۲۸
۲۱۷	مدار موازی RLC	۳۸
۲۲۱	مدار دو حلقه‌ای	۴۸
۲۲۴	فرکانس مختلط	۵۸
۲۲۵	امپدانس کلی (RLC) در حوزه s	۶۸
۲۲۵	تابع شبکه و رسم قطب‌ها و صفرها	۷۸
۲۲۸	پاسخ اجباری	۸۸
۲۲۹	پاسخ طبیعی	۹۸
۲۳۱	مقیاس‌بندی فرکانسی و مقداری	۱۰۸
۲۳۲	مدارهای فعال مرتبه بالا	۱۱۸
۲۳۳	مسائل	

۲۵۵	تحلیل مدار حالت ماندگار سینوزوئیدال	۹
۲۵۵	مقدمه	۱.۹
۲۵۵	پاسخ عناصر	۲.۹
۲۵۸	فیزورها	۳.۹
۲۶۱	امپدانس و ادمیتانس	۴.۹
۲۶۳	تقسیم ولتاژ و جریان در حوزه فرکانس	۵.۹
۲۶۴	روش جریان حلقه‌ای	۶.۹
۲۶۵	امپدانس ورودی و انتقال	۷.۹
۲۶۶	روش ولتاژ گرمای	۸.۹
۲۶۷	قضایای تونن و نورتن	۹.۹
۲۶۷	جمع اثرها در منابع AC	۱۰.۹
۲۶۸	مسائل	
۲۸۹	توان AC	۱۰
۲۸۹	توان در حوزه فرکانس	۱.۱۰
۲۹۰	توان در حالت ماندگار سینوزوئیدال	۲.۱۰
۲۹۱	توان متوسط و توان حقیقی	۳.۱۰
۲۹۳	توان واکنشی	۴.۱۰
۲۹۴	خلاصه توان AC در سار R و L و C	۵.۱۰
۲۹۵	تبادل انرژی بین خازن و سلف	۶.۱۰
۲۹۷	توان مختلط، توان ظاهری، و مثلث توان	۷.۱۰
۳۰۱	موازی بستن شبکه‌ها	۸.۱۰
۳۰۲	بهبود ضریب توان	۹.۱۰
۳۰۴	انتقال توان بیشینه	۱۰.۱۰
۳۰۵	جمع اثر توان‌های متوسط	۱۱.۱۰
۳۰۷	مسائل	
۳۲۳	مدارهای چند فاز	۱۱
۳۲۳	مقدمه	۱.۱۱
۳۲۳	سامانه دوفاز	۲.۱۱
۳۲۴	سامانه سه‌فاز	۳.۱۱
۳۲۶	سامانه ستاره و مثلث یا Y و Δ	۴.۱۱
۳۲۷	فیزور ولتاژها	۵.۱۱
۳۲۷	اتصال بار مثلث متعادل	۶.۱۱
۳۲۸	اتصال بار ستاره یا چهار سیمه متعادل	۷.۱۱
۳۳۰	معادل اتصال ستاره و مثلث	۸.۱۱
۳۳۱	مدار معادل تک خط برای بارهای سه فاز متعال	۹.۱۱
۳۳۲	اتصال مثلثی بار نامتعادل	۱۰.۱۱
۳۳۳	اتصال ستاره بار نامتعادل	۱۱.۱۱
۳۳۴	توان سه‌فاز	۱۲.۱۱
۳۳۵	سنجش توان و روش دو وات‌متر	۱۳.۱۱
۳۳۷	مسائل	

۱۲ پاسخ فرکانسی، فیلترها و رزونانس

۳۵۱	پاسخ فرکانسی	۱.۱۲
۳۵۱	شبکه‌های بالاگذر و پائین‌گذر	۲.۱۲
۳۵۲	فرکانس‌های نیم-توان	۳.۱۲
۳۵۶	شبکه‌های دو دهانه، دو عنصری	۴.۱۲
۳۵۷	پاسخ فرکانسی و توابع شبکه	۵.۱۲
۳۵۹	پاسخ فرکانسی از محل قطب‌ها و صفرها	۶.۱۲
۳۶۰	فیلترهای ایده‌آل و عملی	۷.۱۲
۳۶۱	فیلترهای فعال و غیرفعال	۸.۱۲
۳۶۲	فیلترهای میان‌گذر و رزونانس	۹.۱۲
۳۶۴	فرکانس طبیعی و نسبت میرایی	۱۰.۱۲
۳۶۴	مدار سری RLC ؛ رزونانس سری	۱۱.۱۲
۳۶۶	ضریب کیفیت	۱۲.۱۲
۳۶۷	مدار موازی RLC ؛ رزونانس موازی	۱۳.۱۲
۳۶۸	مدار موازی RLC ؛ عملی	۱۴.۱۲
۳۶۹	تبدیل سر-موازی	۱۵.۱۲
۳۷۰	نمودار مکان هندسی	۱۶.۱۲
۳۷۳	نمودار بود $Bode$	۱۷.۱۲
۳۷۳	مشاهدات	۱۸.۱۲
۳۷۴	خصوصیات نمودار بود	۱۹.۱۲
۳۷۵	خلاصه فیلترهای مرتبه اول	۲۰.۱۲
۳۷۵	فیلترهای مرتبه دوم	۲۱.۱۲
۳۷۷	فیلتر باتروث	۲۲.۱۲
۳۷۷	مقیاس‌بندی پاسخ فرکانسی فیلترها	۲۳.۱۲
۳۷۸	مسائل	

۱۳ شبکه‌های دودهانه

۴۰۳	پاسخ فرکانسی	۱.۱۳
۴۰۳	پارامترهای Z	۲.۱۳
۴۰۵	معادل T شبکه‌های هم‌پاسخ	۳.۱۳
۴۰۶	پارامترهای Y	۴.۱۳
۴۰۷	معادل Π شبکه‌های هم‌پاسخ	۵.۱۳
۴۰۸	کاربرد مشخصات پایانه	۶.۱۳
۴۰۹	تبدیل پارامترهای Z و Y	۷.۱۳
۴۱۰	پارامترهای h	۸.۱۳
۴۱۰	پارامترهای g	۹.۱۳
۴۱۱	پارامترهای انتقال	۱۰.۱۳
۴۱۲	اتصال شبکه‌های دودهانه	۱۱.۱۳
۴۱۴	انتخاب نوع پارامترها	۱۲.۱۳
۴۱۵	خلاصه‌ای از تبدیل پارامترها	۱۳.۱۳
۴۱۵	مسائل	

۴۳۱	۱۴ خودالقائی متقابل و مبدل‌ها
۴۳۱	۱.۱۴ خودالقائی متقابل
۴۳۳	۲.۱۴ ضریب تزویج
۴۳۴	۳.۱۴ تحلیل تزویج سیم‌پیچ‌ها
۴۳۶	۴.۱۴ قانون نقطه
۴۳۶	۵.۱۴ انرژی در یک زوج سیم‌پیچ تزویجی
۴۳۷	۶.۱۴ مدار معادل تزویج هدایتی
۴۳۸	۷.۱۴ مبدل خطی
۴۴۱	۸.۱۴ مبدل ایده‌آل
۴۴۲	۹.۱۴ اتوترانسفورماتور
۴۴۳	۱۰.۱۴ امپدانس انعکاسی
۴۴۵	مسائل

۴۶۵	۱۵ تحلیل در توسط اسپایس و پی‌اسپایس
۴۶۵	۱.۱۵ اسپایس و پی‌اسپایس
۴۶۵	۲.۱۵ تشریح مدار
۴۶۶	۳.۱۵ تقسیم‌بندی مبدل پی‌اسپایس
۴۶۷	۴.۱۵ بیانیه داده‌ها و تحلیل DC
۴۷۲	۵.۱۵ تحلیل DC بیانیه‌ها و کنترل و کنترل
۴۷۵	۶.۱۵ معادل تونن
۴۷۶	۷.۱۵ زیرمدار
۴۷۸	۸.۱۵ مدارهای تقویت‌کننده عملی
۴۷۹	۹.۱۵ حالت ماندگار AC و پاسخ فرکانس
۴۸۱	۱۰.۱۵ القای متقابل و مبدل‌ها
۴۸۴	۱۱.۱۵ مدل کردن افزارها با پارامترهای متغیر
۴۸۵	۱۲.۱۵ پاسخ زمانی و تحلیل گذرا
۴۸۶	۱۳.۱۵ مشخص کردن سایر انواع منابع
۴۸۹	۱۴.۱۵ خلاصه
۴۹۱	مسائل

۵۱۳	۱۶ روش تبدیل لاپلاس
۵۱۳	۱.۱۶ مقدمه
۵۱۳	۲.۱۶ تبدیل لاپلاس
۵۱۴	۳.۱۶ تبدیل لاپلاس توابع معروف
۵۱۶	۴.۱۶ همگرایی انتگرال
۵۱۷	۵.۱۶ قضایای مقدار اولیه و مقدار نهایی
۵۱۸	۶.۱۶ بسط کسرهای جزئی
۵۲۰	۷.۱۶ مدارها در حوزه s
۵۲۱	۸.۱۶ تابع شبکه و تبدیل لاپلاس
۵۲۲	مسائل

۵۴۳	۱۷ روش فوریه در تحلیل شکل‌موج‌ها
۵۴۳	۱.۱۷ مقدمه
۵۴۴	۲.۱۷ سری مثلثاتی فوریه
۵۴۵	۳.۱۷ سری نمایی فوریه

۵۴۷	تقارن شکل موج ها	۴.۱۷
۵۴۹	طیف خطی	۵.۱۷
۵۵۱	سنتز شکل موج	۶.۱۷
۵۵۱	مقادیر موثر و توان	۷.۱۷
۵۵۲	کاربرد در تحلیل مدار	۸.۱۷
۵۵۵	تبدیل فوریه شکل موج های غیر متناوب	۹.۱۷
۵۵۸	خواص تبدیل فوریه	۱۰.۱۷
۵۵۸	طیف پیوسته	۱۱.۱۷
۵۶۰	مسائل	

۵۸۳	سامانه اعداد مختلط	آ
۵۸۳	اعداد مختلط	۱.آ
۵۸۳	صفحه مختلط	۲.آ
۵۸۳	عمل ضرب اری تر	۳.آ
۵۸۴	سایر نمایش اعداد مختلط	۴.آ
۵۸۵	جمع و تفریق اعداد مختلط	۵.آ
۵۸۵	ضرب اعداد مختلط	۶.آ
۵۸۶	تقسیم اعداد مختلط	۷.آ
۵۸۷	مزدوج عدد مختلط	۸.آ

۵۸۹	ماتریس و دترمینان	ب
۵۸۹	معادلات همزمان و ماتریس مشخصه	۱.ب
۵۸۹	انواع ماتریس ها	۲.ب
۵۹۱	عملیات ماتریس ها	۳.ب
۵۹۲	دترمینان یک ماتریس مربعی	۴.ب
۵۹۵	مقادیر ویژه یک ماتریس مربعی	۵.ب