به نام خداوند بخشنده مهربان

# مدارهای الکتریکی

# Electric Circuits


جناب آقای دکتر حسین آقابابا

یاشار ابری

دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران

Yasharabri.ut.ac.ir@gmail.com

yasharabri@ut.ac.ir

# بازبینی نکات برای آمادگی در امتحان

- در ادامه می‌پردازیم

# مبانی تحلیل مدار و قانون ولتاژ کیرشهف (KVL)

## قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) و زمین مرجع

- **زمین مرجع (پتانسیل صفر):** گرهی است که به عنوان مبدأ پتانسیل الکتریکی ($V_0$) انتخاب می‌شود؛ سایر ولتاژهای گرهی و پتانسیل‌ها نسبت به این نقطه سنجیده می‌شوند.
- **قانون ولتاژ کیرشهف (KVL):** مجموع جبری افت ولتاژها (یا پتانسیل‌ها) در هر مسیر یا حلقه بسته در مدار، در هر لحظه برابر با صفر است.
- **نحوه تعیین ولتاژهای گرهی:** با استفاده از KVL و مشخص بودن پتانسیل برخی نقاط، می‌توان اختلاف پتانسیل و ولتاژ دو سر المان‌های مختلف را به دست آورد.
- **نکات:** در تحلیل مدار، انتخاب زمین مرجع یک قرارگرفتن استاندارد برای اندازه‌گیری است. مولتی‌متر با اتصال به دو نقطه، اختلاف پتانسیل بین آن دو گره را نمایش می‌دهد. با تسلط بر KVL، حرکت در مسیرهای حلقوی و یافتن افت ولتاژ مجهول المان‌ها به‌سادگی امکان‌پذیر خواهد بود.

حضرت رسول الله، خاتم الانبیا، محمد مصطفی (صلی الله علیه و آله و سلم):
«مومن حقیقی کسی است که فقیر را در مال خود شریک گرداند و با مردم به انصاف رفتار کند.»
اصول کافی، جلد ۲، صفحه ۱۴۷

# قانون جریان کیرشهف (KCL) و قرارداد علامت غیرفعال (PSC)

## قانون جریان کیرشهف (KCL) و محاسبه توان

- **قانون جریان کیرشهف (KCL):** مجموع جبری جریان‌های وارد شده به هر گره (یا سطح بسته) برابر با صفر است؛ به بیان ساده‌تر، مجموع جریان‌های ورودی به یک گره مساوی مجموع جریان‌های خروجی از آن است.
- **قرارداد علامت غیرفعال (PSC):** توان الکتریکی مبادله‌شده در یک عنصر از حاصل‌ضرب ولتاژ دو سر در جریان عبوری از آن $(P=V\cdot I)$ به دست می‌آید، مشروط بر اینکه جریان از ترمینال با پتانسیل مثبت وارد عنصر شود.
- **جذب‌کننده در برابر تحویل‌دهنده توان:**
  - اگر مقدار توان محاسبه‌شده مثبت باشد ($P>0$)، عنصر توان را جذب (مصرف) می‌کند.
  - اگر مقدار توان منفی باشد ($P<0$)، عنصر توان را تولید (تحویل) می‌کند.

حضرت امام جعفر بن محمد صادق علیه‌السلام: چهار چیز است که اندک آن هم بسیار است: آتش، دشمنی، فقر و بیماری.

اعیان الشیعه، جلد ۱، صفحه ۶۷۴

# قانون جریان کیرشهف (KCL) و قرارداد علامت غیرفعال (PSC)

## قانون جریان کیرشهف (KCL) و محاسبه توان

- **نکات:** KCL بیانگر اصل پایستگی بار الکتریکی در گره‌هاست. در تعیین توان، رعایت دقیق جهت جریان و علامت ولتاژ (PSC) اهمیت حیاتی دارد. جهت واقعی حرکت الکترون‌ها نیز همیشه خلاف جهت جریان قراردادی (موج مثبت) است.

حضرت خاتم الأنبیا محمد مصطفی صلی الله علیه و آله و سلم: ایستادگی و استواری دین اسلام تنها به شمشیر علی بن ابی طالب علیه السلام و ثروت خدیجه کبری سلام الله علیها بود. شجره طوبی، جلد ۲، صفحه ۲۳۳

# تحلیل مدارهای مقاومتی تک‌حلقه‌ای و چندحلقه‌ای

- **روش جامع تحلیل مدارهای دوحلقه‌ای و چندحلقه‌ای**
- **تعیین جریان‌های شاخه و حلقه:** با استفاده از KCL، جریان‌های عبوری از شاخه‌های مختلف مدار بر حسب جریان‌های مستقل حلقه نام‌گذاری می‌شوند.
- **تشکیل معادلات حلقه:** با نوشتن معادلات KVLبرای هر یک از حلقه‌های مستقل مدار، یک دستگاه معادله تشکیل می‌شود که با حل آن مجهولات به دست می‌آیند.
- **محاسبه ولتاژ منابع و مقاومت‌های مجهول:** با داشتن جریان شاخه‌ها و استفاده از قانون اهم $(V=R\cdot I)$همراه با KVL، می‌توان ولتاژ منابع مجهول و مقادیر مقاومت‌های ناشناخته را تعیین کرد.
- **نکات:** حل مدارهای چندحلقه‌ای نیازمند یک رویکرد سیستماتیک است: ابتدا اعمال KCLبرای کاهش متغیرها، سپس نوشتن KVLدور حلقه‌ها و در نهایت استفاده از قانون اهم. این ساختار کلید حل هر مدار مقاومتی ترکیبی است.

حضرت امام حسن بن علی عسکری علیه‌السلام: چقدر زشت است که انسان مؤمن دلبستگی و خواسته‌ای داشته باشد که او را به خاری بکشد. تحف العقول، صفحه ۴۸۹.

# اصول و نکات پایه‌ای توپولوژی مدارهای الکتریکی

## نکات کلیدی توپولوژی و قوانین مدار

- **نقش گره مرجع (زمین):** تغییر دادن گره مرجع، مقادیر پتانسیل مطلق گره‌ها را تغییر می‌دهد، اما اختلاف پتانسیل دو سر شاخه‌ها و جریان‌های مدار دست‌نخورده باقی می‌مانند.
- **سیم‌های رسانای ایده‌آل:** دو یا چند گره که صرفاً توسط سیم‌های بدون مقاومت (ایده‌آل) به هم وصل شده باشند، در تحلیل مدار به عنوان یک گره واحد در نظر گرفته می‌شوند.
- **گستردگی قوانین کیرشهف:** قوانین KCL و KVL ماهیت توپولوژیکی دارند و فارغ از خطی یا غیرخطی بودن المان‌ها، برای تمام عناصر مدار معتبر هستند.
- **نکات:** درک این نکات باعث می‌شود در مواجهه با مدارهای پیچیده دچار سردرگمی نشوید. ماهیت قوانین بقا (بقا بار و انرژی) مستقل از نوع المان است و تغییر زمین تنها یک جابجایی مبدأ پتانسیل است که تاثیری بر فیزیک اصلی مدار ندارد.

حضرت امام حسن بن علی مجتبی علیه‌السلام: هیچ قومی را بدرفتارتر از شما به یاد ندارم. پیکر رسول خدا صلی‌الله‌علیه‌وآله را در مقابل ما رها کردید و امر خلافت را میان خودتان تقسیم کردید.

الاحتجاج، جلد یک، صفحه ۲۰۲

# مفهوم «مدار فشرده» و تحلیل الکترومغناطیسی آن

## مفهوم مدار فشرده ( Lumped Circuit) و طول موج

- **تعریف مدار فشرده:** مداری است که در آن ابعاد فیزیکی تمام عناصر و سیم‌های رابط، بسیار کوچک‌تر از طول موج سیگنال الکترومغناطیسی ($\lambda$) در حال انتشار در آن باشد.
- **دیدگاه میدان‌های الکترومغناطیسی:** در عناصر فشرده، زمان انتشار موج در طول قطعه ($T \gg 1$) بسیار ناچیز فرض شده و ولتاژ و جریان در هر لحظه در سراسر المان یکنواخت در نظر گرفته می‌شوند.
- **شرط اعتبار قوانین کیرشهف:**
  - **در فرکانس‌های پایین** (مانند برق شهر)، دوره تناوب سیگنال بسیار بزرگ‌تر از زمان انتشار موج است، لذا قوانین کیرشهف کاملاً معتبرند.
  - **در فرکانس‌های بسیار بالا** (مانند مایکروویو)، اثرات موجی ظاهر شده و قوانین مدار فشرده اعتبار خود را از دست می‌دهند.

حضرت امام جعفر بن محمد صادق علیه‌السلام: به‌راستی که خداوند کربلا را حرم امن و با برکت قرار داد، پیش از آنکه مکه را حرم قرار دهد.

کامل الزیارات، صفحه ۲۶۹

# مفهوم «مدار فشرده» و تحلیل الکترومغناطیسی آن

## مفهوم مدار فشرده ( Lumped Circuit) و طول موج

- **نکات:** این مفهوم مرز بین تئوری مدار و میدان‌های الکترومغناطیسی را مشخص می‌کند. زمانی که ابعاد مدار با طول موج سیگنال قابل مقایسه شود، دیگر نمی‌توان اثرات انتشار موج را نادیده گرفت و تحلیل فشرده جای خود را به تحلیل توزیع‌شده می‌دهد.

حضرت صدیقه کبری فاطمه زهرا سلام الله علیها:
اگر آنچه را که ما اهل بیت دستور داده‌ایم عمل کنی و از آنچه نهی کرده‌ایم خودداری نمایی، تو از شیعیان ما هستی وگرنه نیستی.
تفسیر امام عسکری علیه السلام صفحه ۳۲۰

# اعتبار قوانین مدار و رفتار مواد (رسانا و عایق)

## عناصر غیرخطی و رفتار فیزیکی مواد در مدار

- **عناصر غیرخطی در مدار:** قوانین KCL و KVL محدود به مقاومت‌ها و عناصر خطی نیستند؛ بلکه برای عناصر غیرخطی (مانند دیودها، ترانزیستورها و منابع وابسته) نیز کاملاً برقرارند زیرا ریشه در قوانین پایستگی دارند.
- **رفتار عایق‌ها و عدم تخلیه خودبه‌خودی باتری:**
  - هوای اطراف باتری به عنوان یک محیط عایق با مقاومت الکتریکی بسیار بالا عمل می‌کند.
  - به دلیل عدم وجود مسیر بسته با مقاومت کم (رسانا)، جریان نشت الکتریکی عملاً صفر بوده و باتری در هوای آزاد دشارژ نمی‌شود.
- **نکات:** دانستن اینکه قوانین مداری محدود به المان‌های خطی نیستند، به مهندس اجازه می‌دهد مدارهای الکترونیک مدرن را تحلیل کند. همچنین شناخت درست خواص عایق‌ها و رساناها، توجیه‌کننده پدیده‌های فیزیکی پیرامون تجهیزات الکتریکی است.

حضرت امام علی بن الحسین زین العابدین علیه السلام:
از دروغ کوچک و بزرگ، جدی و شوخی بپرهیز، زیرا آن کس که در چیز کوچک دروغ گفت، به دروغ بزرگتر نیز جرأت پیدا می‌کند.
اصول کافی جلد ۴ صفحه ۳۵

# وقتی فرکانس بالا می‌رود؛ چرا موبایل شما «مدار فشرده» نیست؟

## چالش طول موج در دنیای فرکانس بالا (مایکروویو و ۵G)

- **پدیده موجی در ابعاد کوچک:** وقتی فرکانس سیگنال به گیگاهرتز (مثل وای‌فای یا ۵G می‌رسد، طول موج به سانتی‌متر یا میلی‌متر می‌رسد و با ابعاد برد الکترونیکی قابل مقایسه می‌شود.
- **فروپاشی قوانین کیرشهف:** در این فرکانس‌ها، ولتاژ و جریان در یک سیم کوتاه در یک لحظه یکسان نیستند؛ موج روی سیم «سفر» می‌کند و تاخیر فاز ایجاد می‌شود.
- **راهکار مهندسی (خطوط انتقال):** مهندسان در این فرکانس‌ها به جای سیم‌های معمولی از «خطوط انتقال» (Transmission Lines) و موجبرها استفاده می‌کنند.
- **نکات:** این یکی از جذاب‌ترین چالش‌ها برای مهندسان است. تصور کنید جریانی که وارد سیم می‌شود، قبل از اینکه به انتهای سیم برسد، جهت‌اش عوض شده است! به همین دلیل در طراحی مدارهای فرکانس بالا، قوانین سنتی مدار جای خود را به میدان‌های الکترومغناطیسی می‌دهند.

حضرت امام علی بن الحسین زین العابدین علیه السلام:
من پسر کسی هستم که فرشتگان آسمان بر او گریستند، من پسر کسی هستم که جنیان در زمین و پرندگان آسمان بر او نوحه سرایی کردند.
بحارالانوار جلد ۴۵ صفحه ۱۷۴

# باتری‌های ابدی؛ راز باتری‌های حالت جامد (Solid-State)

**آیا باتری‌ها واقعاً خودبه‌خود تخلیه می‌شوند؟**

- **پدیده خود-تخلیه (Self-Discharge):** حتی اگر باتری را در هوای آزاد رها نکنید و به هیچ مدار بازی متصل نباشد، به مرور زمان ضعیف می‌شود؛ مقصر اصلی «جریان‌های نشت داخلی» در سطح مولکولی است.
- **انقلاب باتری‌های حالت جامد (Solid-State):** جایگزینی الکترولیت مایع با مواد سرامیکی یا جامد برای به صفر رساندن نشت الکترونی.
- **کاربرد بروز:** استفاده از این تکنولوژی در خودروهای الکتریکی آینده و تجهیزات پزشکی قابل کاشت در بدن با طول عمر بسیار بالا.
- **نکات:** در حالی که باتری معمولی در هوا به دلیل عایق بودن هوا خالی نمی‌شود، اما در درون خود باتری، واکنش‌های شیمیایی کند و نشت‌های میکروسکوپی جریان وجود دارد. فناوری‌های نوین حالت جامد سعی دارند این مقاومت عایقی داخلی را به بی‌نهایت نزدیک کنند تا انرژی برای همیشه حفظ شود.

حضرت صاحب الامر امام عصر عجل الله تعالی فرجه الشریف:
هر صبح و شام بر تو گریه و شیون می‌کنم و در مصیبت تو به جای اشک خون می‌گریم.
بحارالانوار جلد ۱۰۱ صفحه ۲۳۸