

به نام خدا



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

مبانی برنامه سازی شی گرا، دکتر وثوقی وحدت - دکتر هاشمی

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

فاز یک پروژه

تاریخ تحویل : ۶ تیر ۹۹

نکات قابل توجه و مواردی که باید رعایت شود:

- در این فاز از پروژه، برای راحتی کار شما احتیاجی به تحویل گزارش نمی باشد اما پروژه تحویل حضوری داشته و تسلط تمامی اعضای گروه بر کد نوشته شده الزامی می باشد.
- استفاده از گیت لب یا گیت هاب اجباری نبوده اما برای تسهیل انجام کار گروهی شدیداً توصیه می شود. همچنین با توجه به آن که تعداد خط نوشته شده ی هر کدام از اعضای گروه در گیت مشخص و قابل رویت است، در تحویل پروژه ی گروه هایی که از گیت استفاده می کنند سخت گیری کمتری در صحت سنجی عملکرد اعضا خواهد شد.
- از کپی کردن کدهای دیگران و یا قراردادن کدهای خود در اختیار دیگران جدا بپرهیزید؛ در صورت مشاهده برخورد جدی خواهد شد.
- لطفاً ابهامات و اشکالات خود در مورد پروژه را (مخصوصاً سوالات عمومی و ابهامات در مورد پرسش ها که پاسخ آن ها عمومی است و می تواند برای بقیه دانشجویان نیز مفید باشد) در پیانتزا و زیر پست مربوط به فاز یک پروژه مطرح کنید. همچنین برای رفع ابهامات و مشکلات احتمالی در خصوص فاز یک پروژه، یک جلسه ی رفع اشکال و پرسش و پاسخ برگزار خواهد شد.

۱ پیشگفتار

۱.۱ چکیده ای از تئوری مدار های الکتریکی

۱.۱.۱ پتانسیل الکتریکی

انرژی بارهای الکتریکی موجود در یک جسم، پتانسیل الکتریکی نام دارد که میتواند بارها را بصورت جریان از عناصر رسانا عبور دهد.

۲.۱.۱ زمین

در مدارات الکتریکی جهت مقایسه سطح ولتاژ نقاط مختلف، یک نقطه از مدار باید به عنوان مرجع پتانسیل صفر مشخص شده باشد و وقتی میگوییم ولتاژ یک نقطه ی مدار، منظور ولتاژ آن نقطه نسبت به گره ی زمین میباشد. در نتیجه به طور مثال ولتاژ گره ی زمین صفر است چرا که با خودش که گره ی زمین است اختلاف ولتاژی ندارد.

نکته : اگر سطح پتانسیل یک نقطه بیشتر از سطح پتانسیل مرجع باشد علامت آن مثبت و اگر کمتر باشد علامت آن منفی میشود.

۳.۱.۱ جریان الکتریکی

به حرکت بارهای الکتریکی در یک رسانا جریان الکتریکی گفته میشود. در صورتیکه دو سر یک عنصر، اختلاف پتانسیل (اختلاف ولتاژ) وجود داشته باشد، بارهای الکتریکی جهت ایجاد تعادل از سمت پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر حرکت میکنند که همان جریان الکتریکی است. هر زمانی در مدار با یک رابطه بین جریان و ولتاژ مشخص می شود که در بخش های بعد روابط میان آنها آمده است.

نکته : در عمل جهت حرکت الکترونها از قطب منفي به مثبت است اما بصورت قراردادي جهت جريان را از قطب مثبت به منفي در نظر ميگيريم.

۴.۱.۱ المان الکتریکی

برای شناخت یک المان الکتریکی تنها کافی است در هر لحظه، رابطه ای از ولتاژ و جريان دو سر آن را داشته باشیم. این روابط برای المان های مورد استفاده در پروژه در زیر آمده است.

● مقاومت (Resistor)

$$V(t) = R(t)I(t), I(t) = \frac{V(t)}{R(t)}$$

● سلف (Inductor) :

$$V(t) = L(t)\frac{\partial I(t)}{\partial t} + I(t)\frac{\partial L(t)}{\partial t}, I(t) = \frac{1}{L(t)} \int_{-\infty}^t V(t)dt$$

● خازن (Capacitor) :

$$I(t) = C(t)\frac{\partial V(t)}{\partial t} + V(t)\frac{\partial C(t)}{\partial t}, V(t) = \frac{1}{C(t)} \int_{-\infty}^t I(t)dt$$

● منابع جريان (Current sources) :

$$I(t) = F(t), V(t) = V_{NodeIn} - V_{NodeOut}$$

● منابع ولتاژ (Voltage sources) :

$$V(t) = F(t), I(t) = \sum_{i \neq k} I_{e_i} - \sum_{j \neq k} I_{e_j}$$

** توان همه ی المان ها:

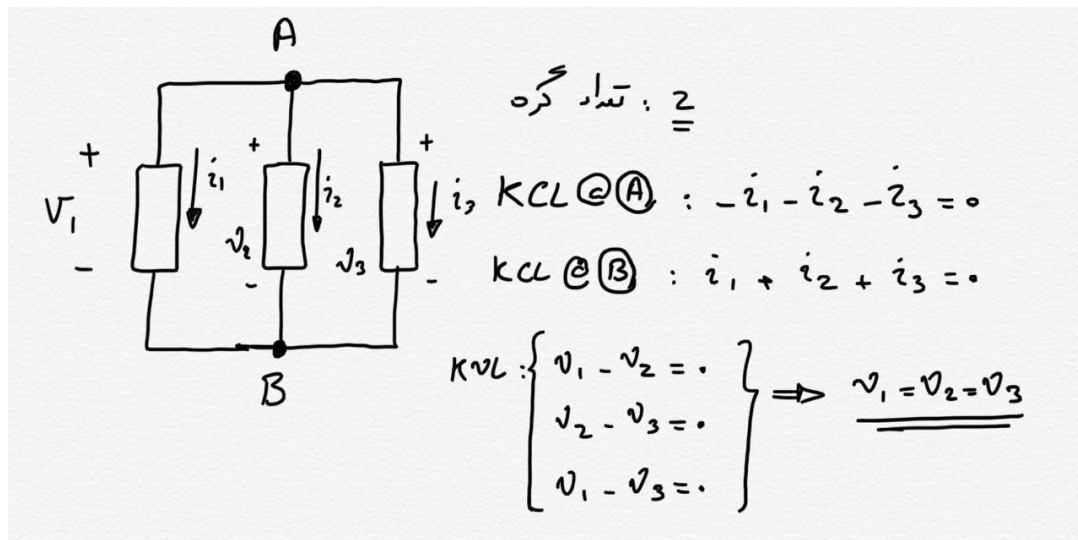
$$P(t) = V(t)I(t)$$

۵.۱.۱ مفهوم مدار الکتریکی

مدار الکتریکی شامل مجموعه ای از المان های الکتریکی هست. به نقاط اتصال المان های الکتریکی گره های مدار می گویند. در هر مدار الکتریکی دو قانون KVL و KCL همواره برقرار است.

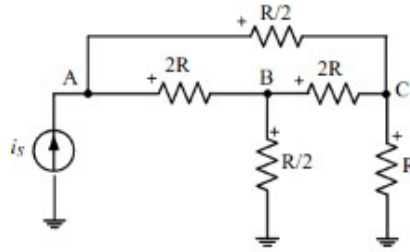
قانون KCL : جمع جریان ورودی به یک گره همواره برابر صفر است. در حقیقت امکان ندارد جریان های وارد شده به یک گره از آن خارج نشود و یک گره امکان ذخیره سازی جریان در خود را ندارد. توجه شود که این قانون در مورد گره ی زمین برقرار نمیباشد.

قانون KVL : در صورت حرکت در یک حلقه از مدار، مجموع ولتاژ های المان های دیده برابر صفر خواهد بود.



شکل ۱: معادلات KCL و KVL

در مدار بالا جای هر یک از جعبه ها، یکی از المان های مدار قرار میگیرد که رابطه ی جریان و ولتاژ دو سر هر جعبه را مشخص میکند.



$$KCL \text{ at Node A: } \frac{1}{2R}(v_A - v_B) + \frac{1}{R/2}(v_A - v_C) = i_s,$$

$$KCL \text{ at Node B: } \frac{1}{R/2}v_B + \frac{1}{2R}(v_B - v_A) + \frac{1}{2R}(v_B - v_C) = 0,$$

$$KCL \text{ at Node C: } \frac{1}{R}v_C + \frac{1}{2R}(v_C - v_B) + \frac{1}{R/2}(v_C - v_A) = 0,$$

شکل ۲: معادلات KCL برای یک مدار الکتریکی کامل

۶.۱.۱ حل مدار الکتریکی و المان های مدار

در اکثر مدار های الکتریکی خطی، تنها بر اساس قوانین KCL, KVL و روش گره میتوان مدار را تحلیل کرد؛ در روش گره با استفاده از این قوانین، دستگاه معادلات خطی ای تشکیل می شود که با حل آن، متغیر های مجهول مدار به دست می آیند. یک مدار الکتریکی از عناصر زیر تشکیل می شود؛ در کنار هر عنصر روابط جریان، ولتاژ و توان آن نوشته شده است.

در حالت کلی میتوان با استفاده از این معادلات، یک دستگاه معادلات دیفرانسیل تشکیل داد و مدار را به صورت تحلیلی حل کرد و در آخر فرم صریح تابع متغیر های مدار را بر حسب زمان به دست آورد؛ اما اینکار بسیار سخت و از لحاظ پیچیدگی محاسباتی سنگین است و برای یک مدار با تعداد بالایی المان عملاً به صرفه نیست؛ به همین دلیل برای حل مدار های بزرگ و یا دارای المان های متغیر با زمان پر تعداد، از روشی تقریبی و از لحاظ پیچیدگی محاسباتی بسیار ساده تر باید استفاده کرد؛ این روش در واقع حل عددی مدار به روش تکرار در دستگاه معادلات دیفرانسیل عددی است.

برای آشنایی بیشتر و مشاهده ی مثال های متعدد در مباحث پایه ای مدار، آشنایی با منابع وابسته و روابط KCL و KVL می توانید [اینجا](#) را کلیک کنید. همچنین در صورت علاقه به آشنایی عمیق تر و تخصصی تر با مفاهیم پایه ای مدار می توانید دو فصل اول [این جزوه](#) را مطالعه کنید.

۲.۱ مفهوم معادلات دیفرانسیل عددی

می دانیم تعریف مشتق تابع دلخواه $f(t)$ به صورت زیر است:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t} = \frac{\partial f(t)}{\partial t} = f^{(1)}(t)$$

حال فرض کنید که بخواهیم به روشی عددی آنرا محاسبه کنیم؛ به سادگی به جای Δt یک مقدار قرار می‌دهیم؛ هر چقدر این مقدار کوچکتر باشد مسلماً با خطای کمتری حاصل مشتق محاسبه می‌شود.

حال به توجه به اینکه توانستیم مشتق را به روش عددی به دست بیاوریم؛ می‌خواهیم معادله دیفرانسیل را نیز به صورت عددی تعریف و حل کنیم. یک معادله دیفرانسیل به صورت زیر را در نظر بگیرید، در مقابل آن همانرا با تعریف اصلی مشتق باز نویسی میکنیم:

$$tf^{(1)}(t) - \frac{f(t)}{t} = t - 1, \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{tf(t + \Delta t) - tf(t)}{\Delta t} - \frac{f(t)}{t} = t - 1$$

حال، از تقریبی که در قسمت قبلی بیان کردیم استفاده کرده و Δt را یک عدد ثابت کوچک در نظر میگیریم؛ معادله ی بالا تبدیل به یک معادله خطی عادی می‌شود:

$$\frac{tf(t + \Delta t) - tf(t)}{\Delta t} - \frac{f(t)}{t} = t - 1, \rightarrow \frac{t}{\Delta t}f(t + \Delta t) - \left(\frac{1}{t} + \frac{t}{\Delta t}\right)f(t) = t - 1$$

با ساده سازی معادله فوق؛ به رابطه بازگشتی زیر می‌رسیم:

$$f(t + \Delta t) = f(t) + \Delta t \left(\frac{f(t)}{t^2} + \frac{t-1}{t} \right)$$

که در واقع برابر معادله زیر است:

$$f(t + \Delta t) = f(t) + \Delta t f^{(1)}(t)$$

که در همان معادله اصلی؛ میتوان $f^{(1)}(t) = \frac{f(t)}{t^2} + \frac{t-1}{t}$ را به دست آورد. به طور شهودی نیز میتوان حدس زد از آنجا که مشتق همان تغییرات تابع هست، اگر مقدار Δt از آنرا با تابع در یک نقطه جمع کنیم با تقریب خوبی مقدار در نقطه بعدی به دست می آید؛ مثال بالا هم همین را نشان می دهد. به همین ترتیب، با دانستن شروط اولیه هر تابع در یک معادله دیفرانسیل میتوان مقدار تقریبی آنرا به دست آورد و هر چقدر Δt کوچکتر در نظر گرفته شود، به جواب اصلی نزدیک تر خواهد بود. به این روش حل معادله دیفرانسیل عددی، روش اویلر می گویند.

با توجه به تعریف انتگرال نیز، آنرا با نماد سیگما به صورت زیر جایگزین میکنیم:

$$\int_{-\infty}^t f(t)dt \simeq \sum_{-\infty}^k f(k\Delta t)\Delta t, k = [\frac{t}{\Delta t}]$$

^۱ برای نوشتار بیشتر در این زمینه و مشاهده کدهای نوشته شده، میتوانید لینک زیر را ببینید:

۳.۱ باز نویسی معادلات المان های مدار به صورت عددی

حالا با کمک روش عددی گفته شده، معادلات عددی زیر را تعریف میکنیم و سپس یکی از روش های حل عددی مدار را بیان میکنیم؛ همانطور که مشاهده می شود فقط برای المان های سلف و خازن شکل این معادلات تغییر میکند.

● مقاومت (Resistor)

$$V(t) = R(t)I(t), I(t) = \frac{V(t)}{R(t)}$$

● سلف (Inductor):

$$V(t) = L(t) \frac{I(t + \Delta t) - I(t)}{\Delta t} + I(t) \frac{L(t + \Delta t) - L(t)}{\Delta t}, I(t) = I(\cdot) + \frac{1}{L(t)} \sum_{\gamma}^k V(k\Delta t) \Delta t, (k = [\frac{t}{\Delta t}])$$

● خازن (Capacitor):

$$I(t) = C(t) \frac{V(t + \Delta t) - V(t)}{\Delta t} + V(t) \frac{C(t + \Delta t) - C(t)}{\Delta t}, V(t) = V(\cdot) + \frac{1}{C(t)} \sum_{\gamma}^k I(k\Delta t) \Delta t, (k = [\frac{t}{\Delta t}])$$

● منابع جریان (Current sources):

$$I(t) = F(t), V(t) = V_{NodeIn} - V_{NodeOut}$$

● منابع ولتاژ (Voltage sources):

$$V(t) = F(t), I(t) = \sum_{i \neq k} I_{e_i} - \sum_{j \neq k} I_{e_j}$$

** توان همه ی المان ها

$$P(t) = V(t)I(t)$$

۴.۱ روش پیشنهادی حل عددی مدار

برای حل عددی، باید ابتدا مقدار های اولیه را تعیین کرده و سپس معادلاتی را معین کنیم که تضمین همگرایی به جواب داشته باشند؛ شروط اولیه اگر در ابتدا مقدار دهی نشده باشند آنها را صفر در نظر میگیریم^۲ و معادلات معیار ما؛ KCL در گره ها هستند. برای اینکار ابتدا باید مدار را به صورت ساختاری تشکیل دهیم، سپس ابر گره ها را تشکیل دهیم و بعد آنها حل کنیم. مرحله تشکیل ابر گره ها به صورت زیر است:

۰ ابتدا گراف مدار را تشکیل میدهیم، برای هر $Node[i]$ نیز قرار میدهیم:

$$Node[i].union = i, Node[i].added = False$$

۱ گره زمین را تعیین کرده، ولتاژ آنها به صورت ثابت صفر در نظر میگیریم، مقادیر ثابت $\Delta t, \Delta \hat{v}$ را نیز به عنوان پارامتر از ورودی دریافت کرده و تنظیم میکنیم.

۲ از گره زمین شروع میکنیم، گره های همسایه آنها در یک صف ذخیره میکنیم. و برای

هر گره همسایه مانند $Node[k]$ قرار میدهیم: $Node[k].added = True$

۳ از جلوی صف یک گره $Node[i]$ را برداشته، و اگر به هر کدام از همسایه هایش مانند

$Node[k]$ با منبع ولتاژ متصل بود قرار می دهیم: $Node[k].union = Node[i].union$ و اگر

$Node[k].added == False$ بود، آنها به صف اضافه میکنیم و قرار میدهیم $Node[k].added =$

$True$

۴ در آخر، به همه ی گره های مدار را در یک حلقه بررسی کرده و $union$ هارا تشکیل

میدهیم که هر کدام میتوانند ۱ یا بیشتر گره در خود داشته باشند.

^۲Initially at rest

بدین ترتیب، ابر گره ها تشکیل شده اند، دقت کنید که اگر مدار منبع ولتاژ نداشته باشد $union$ ها همان گره های عادی خواهند بود. حال، ثابت های $\Delta t, \Delta \hat{v}, \Delta \hat{i}$ را مقدار دهی میکنیم و سپس برای حل خود مدار به صورت زیر عمل میکنیم:

۰ ابتدا، $union$ فعلی را برابر $union$ ای که گره زمین در آن هست قرار میدهیم.

۱ از $union$ ای که در این مرحله در آن هستیم؛ به یکی از همسایه هایش مانند $union[k]$ میرویم و قرار میدهیم: $union[k].visited = True$

۲ مجموع جریان ورودی در این لحظه به این $union$ را محاسبه میکنیم و آنرا $I_{total\setminus}[k]$ مینامیم.

۳ ولتاژ این گره را به اندازه $\Delta \hat{v}$ زیاد میکنیم و باز هم مجموع جریان ورودی را محاسبه میکنیم و $I_{total\setminus}[k]$ مینامیم؛ سپس قرار میدهیم:

$$union[k].v[t] = union[k].v[t - 1] + \frac{|I_{total\setminus}[k]| - |I_{total\setminus}[k]|}{\Delta \hat{i}} \times \Delta \hat{v}$$

۴ مرحله های ۱-۳ را آنقدر انجام میدهیم تا یکبار همه $union$ ها دیده شوند.

۵ ولتاژ های گره ها و جریان المان ها را آپدیت میکنیم و دوباره به مرحله ۰ میرویم.

بدین ترتیب، تا زمان دلخواه t الگوریتم فوق را اجرا میکنیم و مدار به صورت تقریبی بسته به نحوه آپدیت متغیر ها و مقادیر ثابت حل خواهد شد؛ معادله آپدیت ولتاژ گره ها زمانی تغییر نخواهد کرد که مجموع جریان وارد شده به آن صفر شود؛ که این زمانی اتفاق می افتد که KCL برقرار است؛ پس در نتیجه معادله به برقراری KCL و حل مدار همگرا خواهد شد.^۳

^۳ در واقع، این روش حل معادل حل عددی ماتریس معادلات گره بهبود یافته به روش های عددی حل دستگاه معادلات است، منتهی به شکل الگوریتمی با پیاده سازی راحت تر به صورت شی گرا بیان شده است.

برای آپدیت جریان المان ها نیز از روابط بیان شده عددی در قسمت قبلی استفاده می شود، دقت کنید از آنجا که روش تنها مبتنی بر KCL بوده است، تنها المان مدار که مقدار اولیه ی جدا گانه ای برای خود باید داشته باشد سلف است که این مقدار اولیه در صورت مقدار دهی نشدن، صفر در نظر گرفته می شود.

۲ خواسته های مساله

در بخش قبل روش حل مساله به طور کامل توضیح داده شد. در این بخش به ترتیب المان های مختلف و نحوه ی ورودی دادن هرکدام مشخص شده و در نهایت نحوه ی خروجی دادن مطلوب و نحوه ی مورد نظر ذخیره سازی داده ها معرفی خواهد شد. پیاده سازی دقیق ورودی ها و نحوه ی ذخیره سازی خروجی حائز اهمیت بوده و در فاز بعدی پروژه به آن احتیاج خواهید داشت. همچنین المان ها و ویژگی های مدار را به ترتیب ذکر شده که روند صحیح پیاده سازی کد نیز می باشد پیاده سازی کنید.

۳ مدار با منبع جریان (۶۰ نمره)

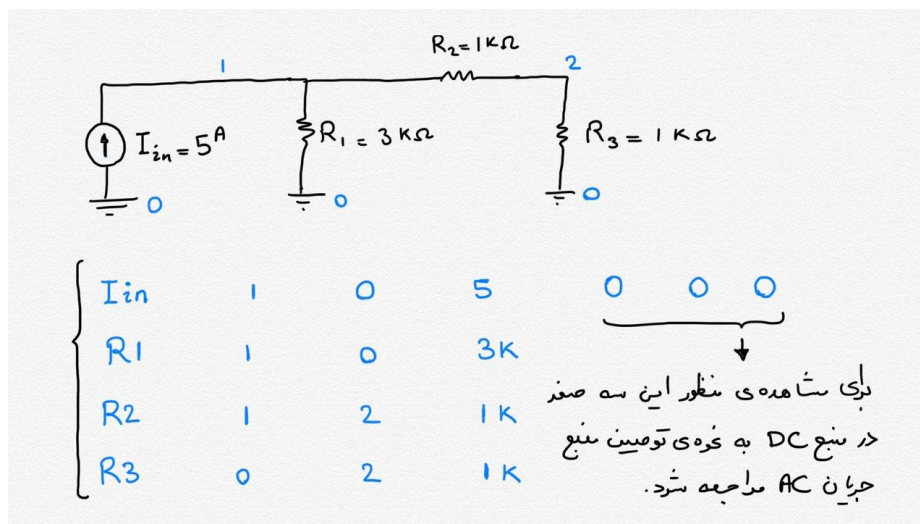
در تمام زیر مجموعه های این بخش منابع ولتاژ وجود نداشته و در نتیجه احتیاجی به تشکیل ابرگره نمی باشد و هرکدام از یونیون های ما یک گره باقی خواهد ماند.

۱.۳ منبع جریان DC و مدار مقاومتی (۱۵ نمره)

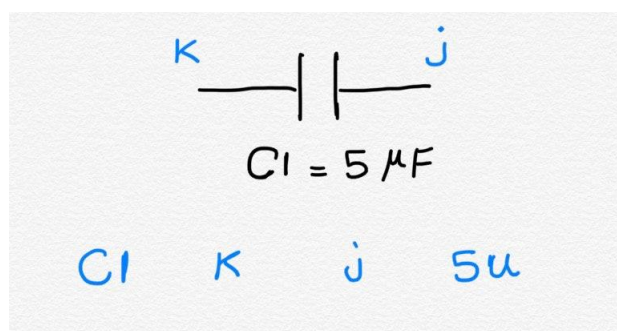
در اولین بخش منابع ثابت جریان به همراه المان مقاومت در مدار را پیاده سازی کنید. نمونه ی توصیف مدار ورودی این بخش به صورت زیر است :

۲.۳ مدار RC (۱۰ نمره)

در این بخش المان خازن نیز اضافه می شود. نحوه ی ورودی دادن المان خازن به صورت زیر بوده و مقدار اولیه ی ولتاژ دو سر آن همواره برابر صفر در نظر گرفته شود.



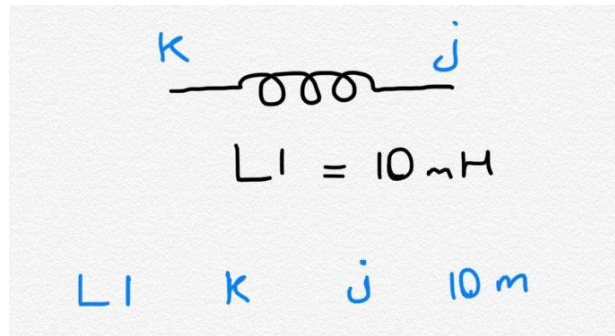
شکل ۳: نحوه ی ورودی دادن مقاومت و منبع جریان ثابت



شکل ۴: نحوه ی توصیف خازن

۳.۳ مدار RLC (۱۵ نمره)

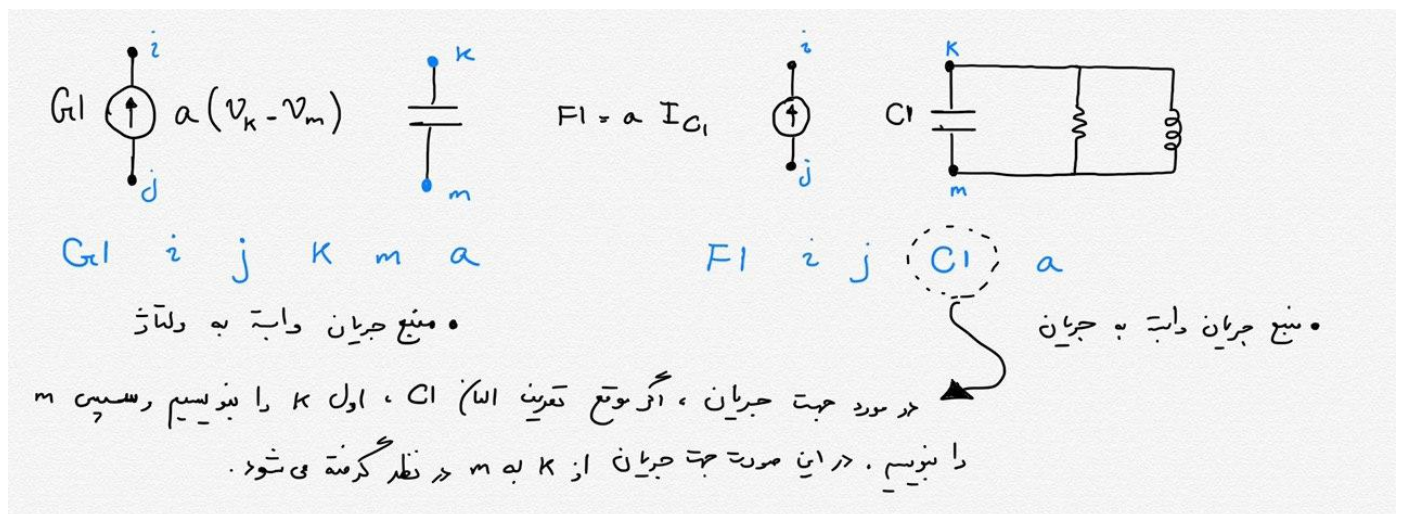
اکنون المان سلف را نیز باید اضافه کنید. مقدار اولیه ی جریان سلف نیز برابر با صفر در نظر بگیرید. همچنین توجه شود که برای محاسبه ی انتگرال، مقدار جریان این المان در زمان قبل احتیاج خواهد بود. المان سلف به صورت زیر به مدار داده می شود :



شکل ۵: نحوه ی توصیف سلف

۴.۳ منابع جریان وابسته (۱۵ نمره)

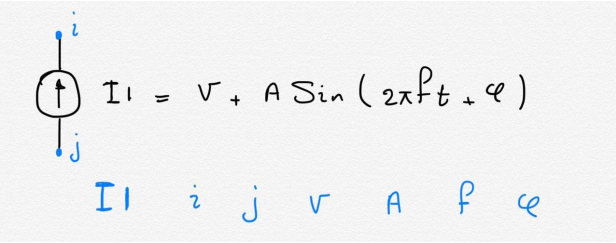
منابع جریان وابسته به ولتاژ (۵ نمره) و وابسته به جریان (۱۰ نمره) را به صورت زیر پیاده سازی کنید. برای پیاده سازی منبع جریان وابسته به جریان اگر المان سلف یا منبع جریان باشد که جریان آن المان را نگه داشته اید. همچنین اگر المان دیگری مانند خازن یا مقاوت باشد نیز مقدار جریان آن المان را نیز می توانید با استفاده از ولتاژ دو سر آن به دست بیاورید.



شکل ۶: منابع جریان وابسته

۵.۳ منبع جریان AC و متغیر با زمان (۵ نمره)

نهایتا در آخرین قسمت این بخش، شکل کامل منابع جریان را پیاده سازی می کنید. نکته ی حائز اهمیت این است که ما در این پروژه صرفا یک منبع مستقل ولتاژ داریم که فرمت ورودی دادن آن را در شکل زیر مشاهده می کنید. فلذا به جای تعریف یک کلاس جدید برای منبع جریان متغیر با زمان، کلاس منبع جریان ثابت نوشته شده در بخش اول را ارتقا دهید. در نتیجه کلاس شما به این صورت خواهد بود که زمان را گرفته و در آن گام زمانی متناسب با فرمول منبع که در شکل زیر موجود است، عدد مقدار جریان منبع را در آن لحظه خروجی خواهد داد که در حل مدار و نوشتن روابط KCL استفاده خواهد شد.


$$I_i = V + A \sin(2\pi f t + \phi)$$

$I_i \quad i \quad j \quad V \quad A \quad f \quad \phi$

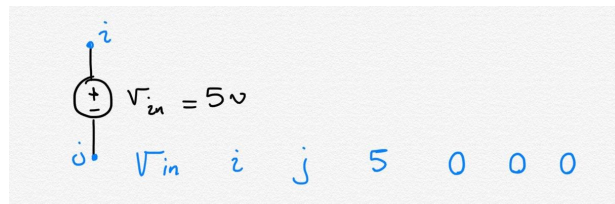
شکل ۷: منبع جریان مستقل

۴ مدار با منبع ولتاژ (۴۰ نمره)

در این بخش به پیاده سازی منابع ولتاژ می پردازیم.

۱.۴ منبع ولتاژ DC در مدار RLC (۱۵ نمره)

در بخش اول منبع ولتاژ ثابت را اضافه میکنیم. هنگام اضافه کردن منابع ولتاژ ممکن است ابرگره هایی تشکیل شود که یونیون های ما به صورت مجموعه ای از گره ها شود. همچنین توجه شود که ممکن است تعدادی منبع ولتاژ سری شده و تعداد اعضای یک ابر گره یا یونیون ما از ۲ گره فراتر رود. توصیف این المان به صورت زیر می باشد.



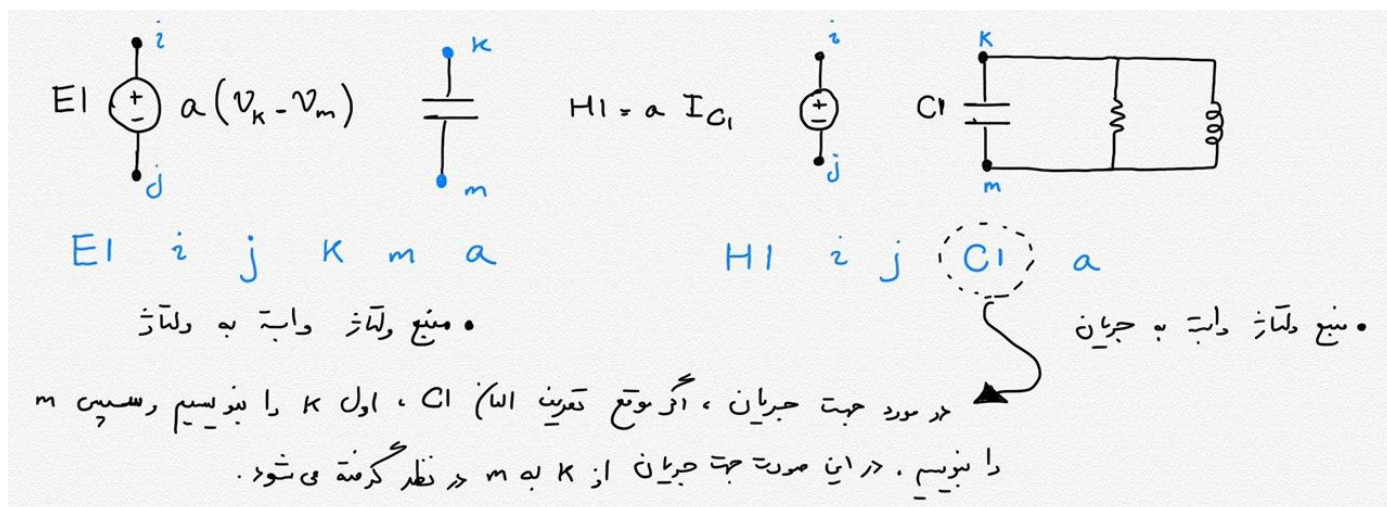
شکل ۸: منبع ولتاژ ثابت

۲.۴ منبع ولتاژ وابسته (۱۵ نمره)

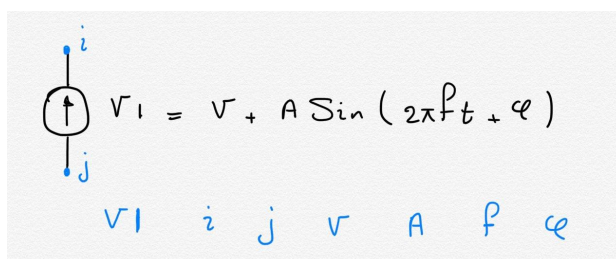
منابع ولتاژ وابسته به ولتاژ (۵ نمره) و وابسته به جریان (۱۰ نمره) را به صورت زیر پیاده سازی کنید.

۳.۴ منبع ولتاژ AC و متغیر با زمان (۱۰ نمره)

نهایتا ما تنها یک منبع ولتاژ مستقل داریم که مشابه منبع جریان مستقل به صورت زیر تعریف می شود.



شکل ۹: منابع ولتاژ وابسته



شکل ۱۰: منبع ولتاژ مستقل

۵ المان های غیر خطی و متغیر با زمان (۱۰ نمره امتیازی*)

در این بخش به پیاده سازی تعدادی المان غیرخطی می پردازیم. بخش دیود ایده آل برای گروه های دو نفره ۱۰ نمره امتیازی خواهد داشت و زدن دو بخش دیگر امتیازی نخواهد داشت. در مورد گروه های سه نفره نیز، بخش دیود ایده آل جزو بخش های اجباری آن ها بوده (نمره ی اصلی گروه های سه نفره در ضریب ۱۰/۱۱ ضرب خواهد شد) و بخش های دیود غیرایده آل و المان های متغیر با زمان به ترتیب ۳ و ۷ نمره امتیازی خواهد داشت. فلذا مجموعه نمرات قابل کسب تمام گروه ها یکسان خواهد بود.

۱.۵ دیود ایده آل

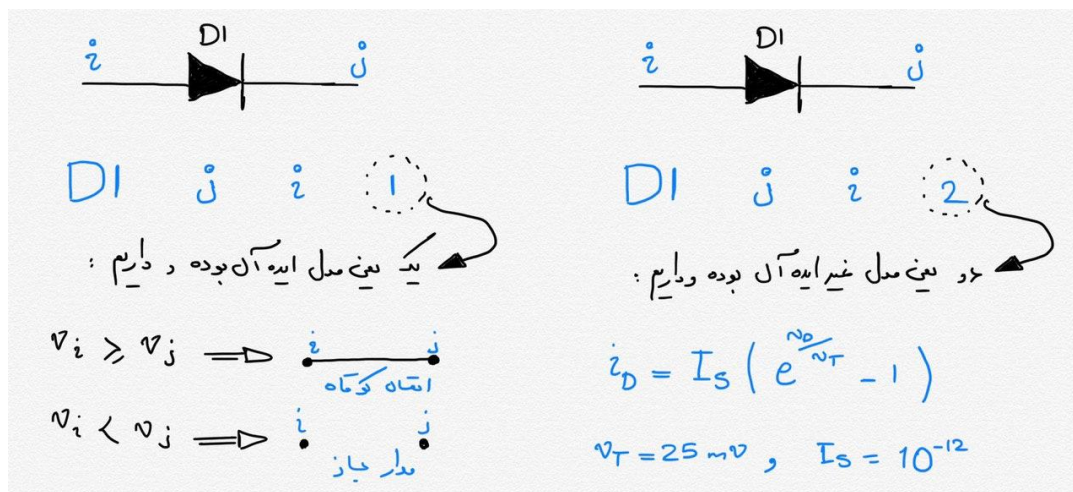
توصیف دیود ایده آل و غیر ایده آل را می توانید در شکل زیر مشاهده کنید. در پیاده سازی دیود ایده آل روشن بودن یا نبودن را با توجه به مقدار قبلی ولتاژ دو سر دیود تایین کنید و متناسب با روشن بودن یا نبودن دیود، ابرگره های خود را آپدیت کرده و مدار را حل کنید.

۲.۵ دیود غیر ایده آل

در شبیه سازی دیود غیر ایده آل صرفا مانند هر المان دیگر رابطه ی جریان ولتاژ دو سر دیود را همان طور که در شکل زیر نوشته شده است قرار می دهیم.

۳.۵ المان های RLC متغیر با زمان

در این بخش برای المان های مقاومت، سلف و خازن، مقدار این المان ها با استفاده از یک رابطه ی ریاضی متناسب با زمان توصیف می شود. رابطه ی ریاضی را کاربر در هنگام توصیف المان در ورودی به جای عدد مقدار آن المان می نویسد. رابطه ی ریاضی داده شده یک رابطه



شکل ۱۱: روابط دیود ایده آل و غیر ایده آل

ی چند جمله ای از زمان می باشد. توجه شود که در ورودی لزوما توان های x به ترتیب قرار نمی گیرند و حتی امکان تکرار توان های x نیز وجود دارد؛ به عنوان مثال ورودی چند جمله ای مشخصه ی مقدار المان می تواند به صورت

$$t^3 + 5t + 4 - t$$

باشد.

۶ نکات مرتبط با نحوه ی ورودی گرفتن و خروجی دادن و

خطایابی ورودی

پیاده سازی دقیق نکات زیر در ورودی گرفتن و خطایابی مدار و نحوه ی خروجی دادن مدار حائز اهمیت بوده و در صورت کارکرد نادرست کد در هر یک از نکات، درصدی از نمره ی شما کسر خواهد شد.

* نکات فایل ورودی :

۱ اگر خطی با * آغاز شود، آن خط کامنت بوده و ران نخواهد شد.

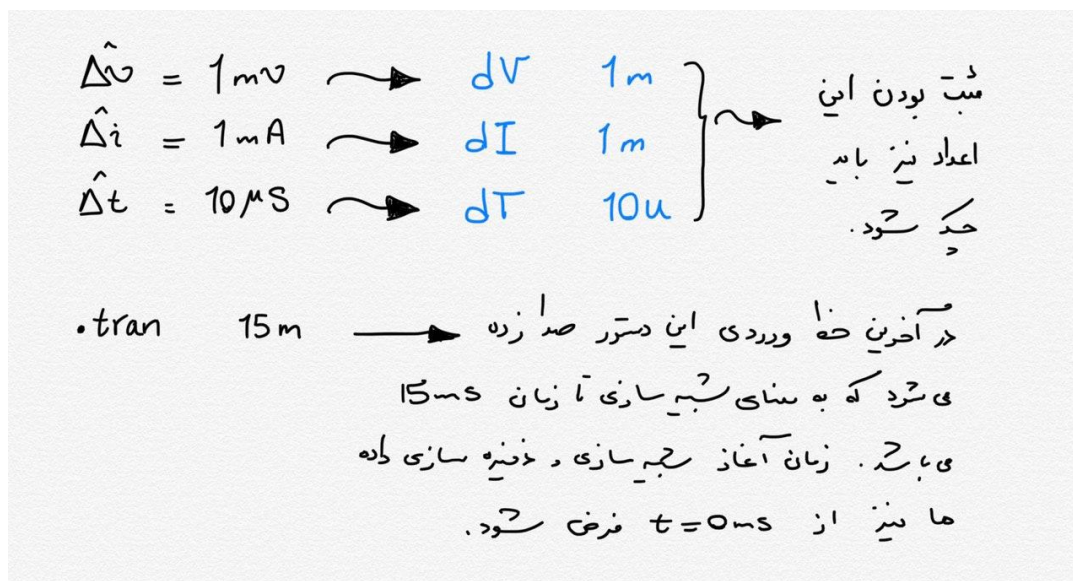
۲ به جز اسم المان که به تک حرف اول مشخص کننده ی نوع المان چسپیده است، بین بقیه ی مقادیر و روابط حداقل یک اسپیس وجود دارد و می تواند بیشتر از یک اسپیس نیز وجود داشته باشد. در بخش المان های متغیر با زمان نیز بین اجزای روابط ریاضی فاصله وجود ندارد.

۳ در صورت وجود هرگونه خطا در کاراکتر های ورودی اعم از عدم تطبیق فرم ورودی با هیچ کدام از المان ها، دادن رشته به جای عدد، دادن عدد منفی به عنوان مقادیر المان ها و ... شماره ی اولین خطی که خطا در آن رخ داده است در صفحه ی کنسول چاپ شده و برنامه متوقف شود.

۴ در نهایت ورودی باید از یک فایل خوانده شود و از ورودی دادن از طریق کنسول پرهیز کنید. این امر به تسریع شما در تست و دیباگ کردن کدتان نیز کمک خواهد کرد.

۵ به جز دستورات مربوط به المان ها، دستورات تکمیلی موجود در تصویر زیر نیز در فایل ورودی وجود خواهند داشت. در صورت خطا در هرکدام از این دستورات مانند خطا در ورودی دادن بقیه دستورات رفتار شود و در صورت عدم وجود یکی از این چهار دستور

موجود در شکل، خطای منفی یک در صفحه ی کنسول چاپ شود. همچنین کد شما باید از حروف p n u m k M G که به ترتیب مشخصه ی واحدهای پیکو تا گیگ هستن نیز پشتیبانی کند.



شکل ۱۲: دستورات اضافه (به جز دستور آخر، سه دستور دیگر می توانند در هر جای فایل ورودی قرار بگیرند)

* نحوه ی چاپ خروجی :

۱ برای ذخیره سازی خروجی، در یک فایل ابتدا در هر خط شماره ی گره ها را به ترتیب از کم به زیاد نوشته و سپس در هر گام از آنالیز مدار، مقدار ولتاژ هر کدام از گره ها با یک اسپیس قبل از آن جلوی هر گره قرار می گیرد. به طور مثال اگر مدار ما ۵ گره داشته باشد (به جز گره ی زمین) این بخش از فایل خروجی ۵ سطر خواهد داشت که در ابتدای هر سطر شماره ی گره آمده و همچنین اگر فرض کنیم گام زمانی تحلیلی مدار نیم ثانیه باشد و تحلیل مدار را تا ۲ ثانیه بخواهیم، جلوی هر سطر بعد از شماره ی گره، ۵ عدد که مشخص کننده ی ولتاژ گره ها در زمان های مختلف تحلیلی می باشند قرار می گیرند. همچنین ورودی ها به گونه ای خواهد بود که مقدار نهایی زمان بر گام زمانی

بخش پذیر باشد. در ادامه ی این فایل نام المان ها را به ترتیبی که در ورودی آمده اند در ابتدای هر سطر قرار داده و به ترتیب مقادیر ولتاژ، جریان و ضرب این دو عدد که مقدار توان لحظه ای آن المان را می دهد برای هرکدام از زمان های تحلیلی مدار و برای تمامی المان ها اعم از منبع ولتاژ وابسته، دیود و ... ذخیره شود. (طبیعتاً اعداد هر سطر را با یک اسپیس از یکدیگر جدا کنید) هنگام ذخیره سازی اعداد سر مثبت ولتاژ هر المان را اولین گره ای که در تعریف آن المان آمده است در نظر گرفته و سر منفی را گره ی دوم در نظر بگیرید. همچنین جهت جریان را نیز از سر مثبت (گره ی اول هنگام توصیف المان) به سر منفی در نظر بگیرید. با رعایت این تعریف علامت توان المان هایی که در آن لحظه به مدار توان تزریق می کنند مثبت و المان هایی که در آن لحظه انرژی مصرف می کنند منفی خواهد شد.

۲ کد شما پس از سیموله کردن مدار و ذخیره سازی داده ها در فایل همچنان تا زمانی که کاربر در کنسول کلمه ی END را تایپ نکند باید به کار خود ادامه دهد. نحوه ی کارکرد و ورودی گرفتن مدار در صفحه ی کنسول به این صورت است که ابتدا نام گره ی اول، سپس حداقل یک اسپیس، سپس نام گره ی دوم و باز هم حداقل یک اسپیس و نهایتاً عدد سوم که مشخصه ی زمان مورد نظر است از کاربر دریافت شده و ولتاژ گره ی اول منهای ولتاژ گره ی دوم را در زمان داده شده چاپ می کنیم. در صورتی که نحوه ی ورودی دادن، اسم شماره گره ها نامعتبر باشند یا زمان تعیین شده در هیچ کدام از گام هایی که مدار را شبیه سازی کرده ایم نباشد کلمه ی ERROR را چاپ کرده و به ورودی گرفتن از کاربر ادامه دهد.

۳ در صورت وجود هرگونه خطا در کاراکترهای ورودی اعم از عدم تطبیق فرم ورودی با هیچ کدام از المان ها، دادن رشته به جای عدد و ... شماره ی اولین خطی که خطا در آن رخ داده است در صفحه ی کنسول چاپ شده و برنامه متوقف شود.

۴ در نهایت ورودی باید از یک فایل خوانده شود و از ورودی دادن از طریق کنسول پرهیز کنید. این امر به تسریع شما در تست و دیباگ کردن کدتان نیز کمک خواهد کرد.

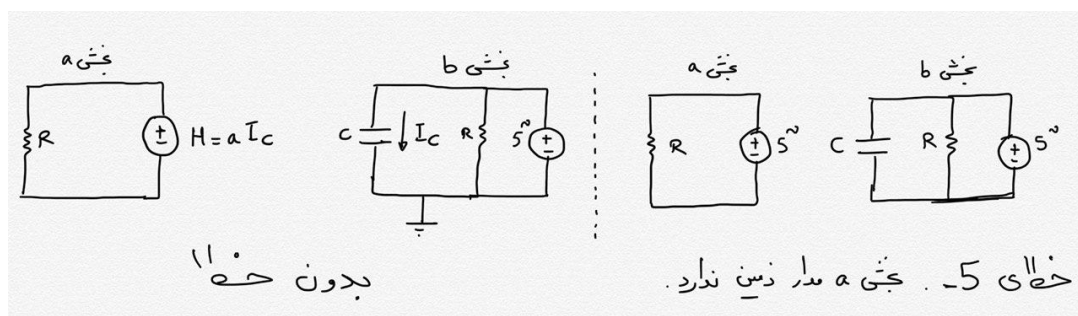
* خطایابی مدار :

۱ در صورت سری کردن دو منبع جریان با جریان ها نامساوی، ارور منفی ۲ در خروجی چاپ شود و اجرای برنامه قطع شود. توجه شود که اگر منابع جریان وابسته بوده و در هر کدام از مراحل زمانی حل مساله، دو منبع جریان با جریان ها نامساوی سری شده باشند باید به طور مشابه ارور منفی دو چاپ شده و حل کردن مدار همان لحظه قطع شود.

۲ دقیقا مانند منابع جریان، منابع ولتاژ وابسته یا مستقل نیز اگر در هر لحظه ای از حل مدار با مقدار های نامساوی موازی شوند ارور منفی ۳ چاپ شده و حل مدار متوقف گردد.

۳ در صورتی که کاربر گره ای به عنوان گره زمین مشخص نکرده باشد یا ولتاژ گره ای که زمین شده است از قبل مقدار غیر از صفری فیکس شده باشد، (مثلا کاربر نباید دو سر یک منبع ولتاژ ناصفر را زمین کرده باشد) در این صورت ارور منفی ۴ چاپ شود.

۴ *هیچ کدام از گره های مدار نباید رها شوند. به این معنا که اگر گراف اتصالات مدار را ترسیم کنیم، یک دور گذرنده از آن گره وجود داشته باشد که گره ی زمین رانیز شامل شود. همچنین به منابع وابسته نیز توجه شود. برای فهم بهتر این بخش، مثال زیر را مطالعه کنید. همچنین برای ارور این بخش عدد منفی ۵ چاپ شود. (این مورد ۱۰ نمره ی امتیازی برای هر دو دسته ی گروه های دو نفره و سه نفره دارد)



شکل ۱۳: خطای منفی ۵