

## جزوه

# الکترونیک

- ✓ شامل جزوات آموزشی درس الکترونیک
- ✓ ویژه آزمون های استخدامی و اخذ مدرک

## لینک های مفید آزمون های استخدامی

|                                                                          |                                     |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| خرید سوالات بانکدار ساختمان (برق) بانک سینا                              | سوالات رایگان بانک سینا با پاسخنامه |
| خرید سوالات بانک سینا                                                    | خرید درسنامه بانک سینا              |
| منابع آزمون                                                              | اخبار آزمون                         |
| شبکه های اجتماعی ایران عرضه<br>(فایل های رایگان + تخفیفات هفتگی + اخبار) |                                     |

(برای مشاهده هر بخش روی آن بزنید )

## فهرست مطالب

❖ فصل اول: الکترونیک به کوشش حسین زاده - صفحه ۴

❖ فصل دوم: الکترونیک به کوشش خلافتی - صفحه ۷۲



# درس مبانی برق ۱

استاد: دکتر مهران حسین زاده دیزج

کارشناسی: مهندسی برق-کنترل (تهران مرکز)

کارشناسی ارشد: مهندسی برق-الکترونیک (تهران مرکز)

دکتری: مهندسی برق-الکترونیک (تهران مرکز)

فرصت مطالعاتی (کوانتوم الکترونیک) دانشگاه UBC ونکوور-کانادا

[Mehran72002@yahoo.com](mailto:Mehran72002@yahoo.com)

دانلود سوالات آزمون 

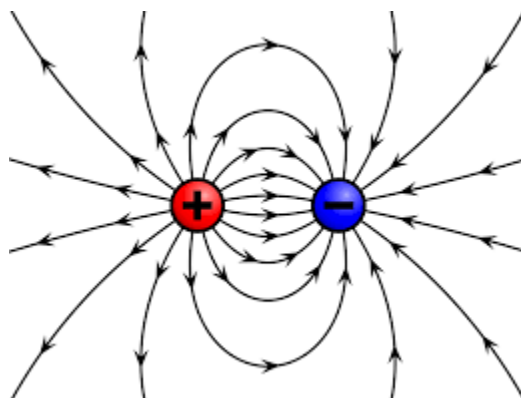
## جلسه اول:

**مقدمه:** اهمیت این درس برای رشته های مهندسی مکانیک-مهندسی شیمی-مهندسی صنایع

در بعضی از رشته ها نیاز به پاس کردن درس مبانی برق ۲ است. به عنوان مثال یک مهندس مکانیک نیاز دارد به یک دید کلی نسبت به مهندسی برق. به عنوان مثال، یک موتور مکانیکی که کار میکند ما نیاز داریم به اطلاعاتی مانند منبع انرژی-میزان توان-ولتاژ-محاسبه توان

## بار الکتریکی:

بار الکتریکی (Electric Charge) یکی از خواص ماده است. در حقیقت، وقتی دو ماده باردار در مجاورت هم قرار می گیرند، به یکدیگر نیرو وارد می کنند. حتماً تا به حال با پدیده های بسیاری که ناشی از الکتریسیته ساکن هستند، مواجه شده اید. به عنوان مثال، هنگامی که لباس های خود را از خشک کن بیرون می آورید، مشاهده می کنید که بیشتر آن ها به یکدیگر می چسبند و حتی بعضی از آن ها خیلی سخت از هم جدا می شوند.

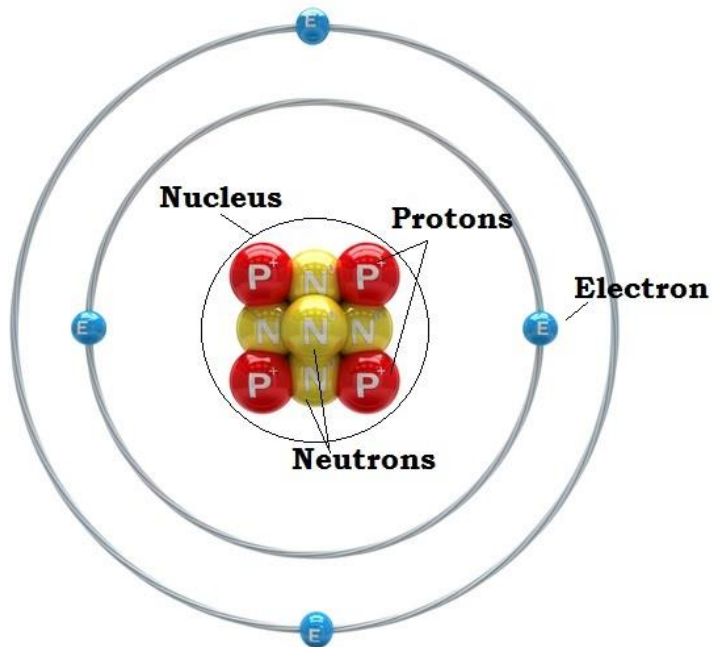


**نکته:** بار های الکتریکی هم نام همدیگر را دفع میکنند و بار های الکتریکی غیر همنام همدیگر را جذب میکنند.

بارهای همنام یکدیگر را می‌رانند.



بارهای ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند.



۳ نوع بار الکتریکی داریم:

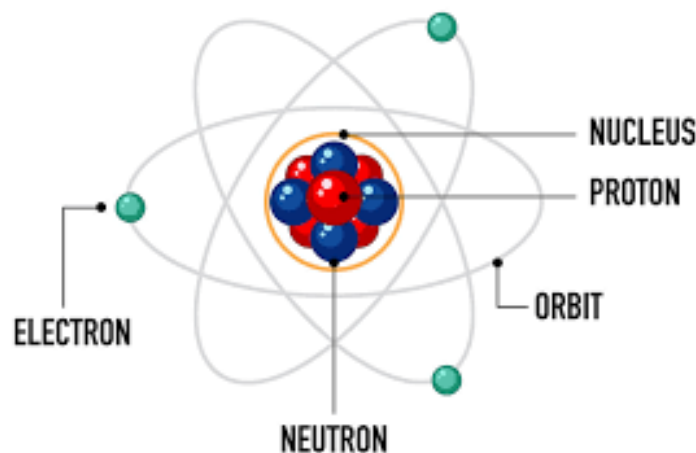
الکترون Electron

پروتون Proton

نوترون Neutron

ترتیب قرار گرفتن الکترون ها در لایه ها (اربیتال):

$$1S^2 - 2S^2 - 2P^6 - , , , , , ,$$



اتم:

۱: هسته: که تشکیل شده از پروتون ها و نوترون ها که تعداد آن ها میتواند برابر باشد و میتواند برابر نباشد.

۲: لایه ها: لایه های اطراف هسته که الکترون ها قرار دارند بر اساس قوانین شیمی به آن ها اربیتال میگوییم که در هر لایه چند الکترون وجود دارد. هر چقدر فاصله بین الکترون ها تا هسته زیاد باشد، نیروی هسته کمتر میتواند بر آن الکترون اثر کند و بنابراین جدا کردن آن الکترون ها ساده تر است و میتوان پیوند کووالانسی بین آنها را شکست. تعداد الکترون ها و پروتون ها در حالت تعادل برابر است.

به این حالت برابری تعداد الکترون و پروتون حالت تعادل میگویند که ماده در این حالت خنثی است .

ظرفیت هر لایه از رابطه زیر بدست می آید:

$$2n^2$$

مثال:

$$N=1 \quad 2(1)^2 = 2$$

**نکته مهم:** تعداد الکترون برابر با تعداد پروتون است. در این حالت میگوییم که اتم از نظر الکتریکی خنثی است.

**نکته:** آخرین لایه دور اتم را لایه والانس میگوییم.

**نکته:** لایه والانس برای ما اهمیت فراوانی دارد. هر چقدر تعداد الکترون در لایه والانس بیشتر شود، هدایت الکتریکی کمتر میشود.

**نیمه هادی ها:** با افزایش یا کاهش الکترون ها میتوان هدایت الکتریکی مواد را کنترل کرد. هر اتمی که یک الکترون از دست بدهد یا بدست آورد به آن یون میگویند. گالیم آرسنید، ژرمانیوم و سیلیسیم از نیمه هادی های متداولی هستند که از آنها استفاده میشود. برای مثال، سیلیسیم در ساخت مدارهای الکترونیکی و گالیم آرسنید در سلولهای خورشیدی، دیودهای لیزر و... به کار میروند. در این وضعیت با استفاده از این قابلیت میتوانند ادوات نیمه هادی تولید کنند.

**حفره و الکترون در نیمه هادی ها:**

حفره ها و الکترون ها انواع حامل های بار هستند که گذر جریان در نیمه هادی ها را ممکن میکنند. حفره ها (الکترونهای ظرفیت) حامل بار الکتریکی مثبت هستند، در حالی که الکترون ها ذراتی با بار منفی اند. الکترون ها و حفره ها هر دو از نظر اندازه برابر، اما از نظر قطبیت مخالف هستند

**مواد:** رسانا-عایق-نیمه رسانا(نیمه هادی)

**نکته:** هر چقدر به لایه های بالاتر برویم، میزان انرژی هسته نسبت به الکترون های آن لایه کاهش میابد.

**ادوات نیمه هادی:** ترانزیستور ها-دیود ها-آی سی ها و .....

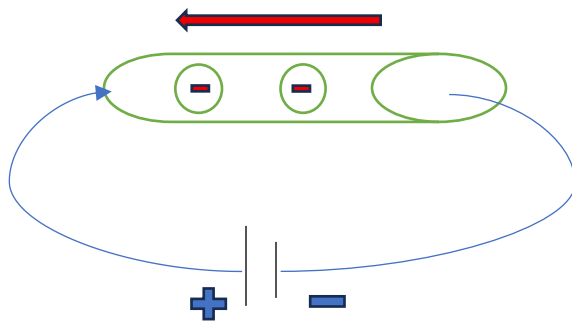
**بار الکتریکی:** هر الکترون به تعداد عدد زیر بار الکتریکی دارد

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C کولون}$$

**نکته:** پروتون نیز همین مقدار بار دارد ولی به توان مثبت.

$$\text{کولون } q = n \times e = \text{الکترون } n$$

**جریان الکتریکی:**



طبق قرارداد جریان از مثبت به سمت منفی حرکت میکند.

وقتی الکترون ها حرکت میکنند جریان به وجود می آید. الکترون ها

بسیار تنبل هستند. رعد و برق همیشه به نقاط تیز و بلند برخورد

میکند که راحت تر تخلیه شوند.

جریان الکتریکی با حرکت ذرات بار داری مثل الکترون ها در یک رسانای الکتریکی مانند یک سیم مسی تولید

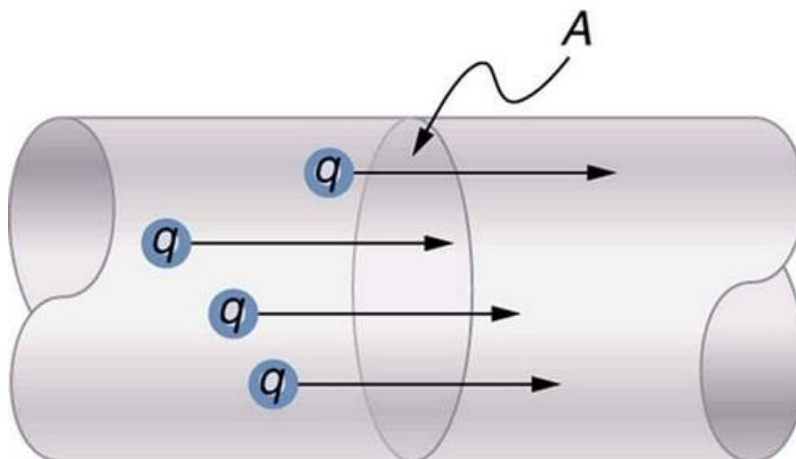
می شود. جهت جریان طبق قرارداد، از نقاطی با پتانسیل بیشتر به سمت نقاطی با پتانسیل کمتر است

و واحد آن در سیستم SI کولن بر ثانیه یا آمپر (Amperes) است. یک آمپر جریان، نرخی است که در آن بار از

یک نقطه مشخص در مدار عبور می کند. معمولاً جاری شدن جریان الکتریکی با نشانه هایی مانند

تولید گرما، ایجاد میدان مغناطیسی یا انجام برخی واکنش های شیمیایی همراه است.

**Current = flow of charge**



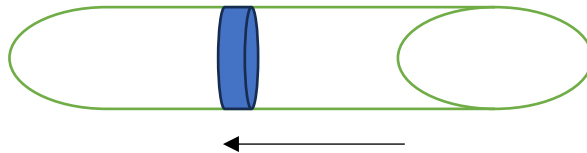
**نکته:** برق گرفتگی انسان به این دلیل اتفاق می افتد که ،الکترون ها نزدیکترین و راحت ترین و کم مقاومت ترین مسیر را برای تخلیه بار الکتریکی استفاده میکنند.

**نکته:** تعدا بار های الکتریکی که در واحد زمان مشخص از سطح مقطع مشخص عبور میکند را جریان میگویند:

$$I = \frac{q}{t} \rightarrow I = \frac{dq}{dt} [A]$$

$$I = 1 = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ S}} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1}$$

$$q_{\text{بار}} = \int I \cdot dt$$



**مثال:** مقدار بار جابجا شده از زمان ۱ تا ۲ ثانیه را با در نظر گرفتن جریان داده شده محاسبه کنید:

$$i = (3t^2 - t)$$

$$q = \int I \cdot dt = \int_1^2 (3t^2 - t) dt \Rightarrow q = 3 \frac{t^3}{3} - \frac{t^2}{2}$$

**نکته:**

$$\int t^n \cdot dt = \frac{t^{n+1}}{n+1}$$

$$\left[ t^3 - \frac{t^2}{2} \Rightarrow 2^3 - \frac{2^2}{2} \right] - \left[ 1^3 - \frac{1^2}{2} \right]$$

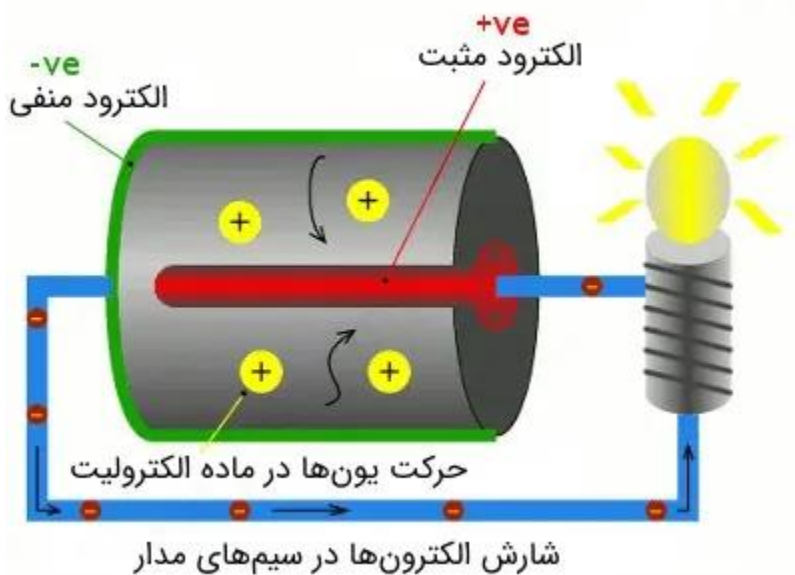
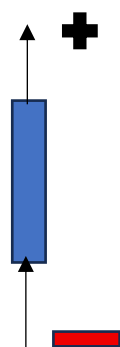
$$\Rightarrow (8 - 2) - \left( 1 - \frac{1}{2} \right) \Rightarrow 6 - \frac{1}{2} \Rightarrow 5.5 \text{ C}$$

## جلسه دوم:

**ولتاژ:** ولتاژ، معادل اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در یک مدار الکتریکی است. در واقع ولتاژ عامل حرکت الکترون‌ها در یک جهت معین و در نتیجه، تولید جریان الکتریکی است. هر چه ولتاژ بیشتر باشد، جریان الکتریکی یعنی تعداد الکترون‌هایی که در واحد زمان از یک نقطه ثابت عبور می‌کنند، بیشتر می‌شود. یکا یا واحد اندازه‌گیری ولتاژ که با  $V$  نشان داده می‌شود، در سیستم بین‌المللی واحدها ولت ( $V$ ) است. اگر جریانی به اندازه یک آمپر از مقاومتی به اندازه یک اهم عبور کند، افت ولتاژ ایجاد شده در مقاومت با اختلاف پتانسیل دو سر آن برابر است. این اختلاف پتانسیل معادل یک ولت است.

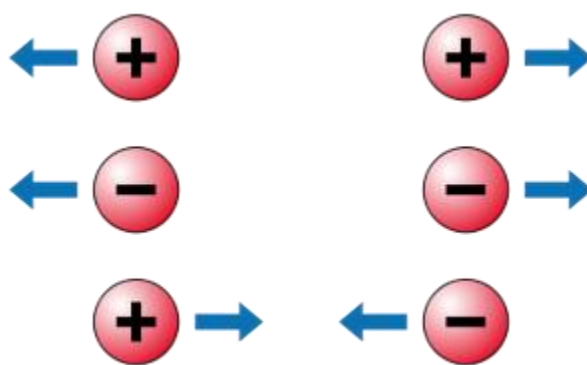
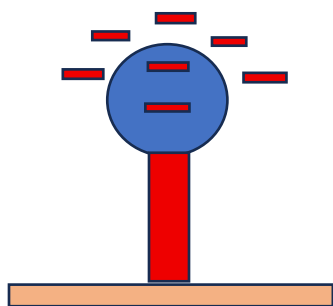
ولتاژی که در منازل به کار می‌رود در رنج ۲۲۰ ولت است. ولی ولتاژی که در الکترونیک کاربرد دارد در رنج ۳-۵ ولت است.

**پلاریته:** یعنی جهت مثبت و منفی.



**مثال:** به شکل مقابل توجه کنید:

این بار توسط یک انرژی بدست آمده است که به آن پتانسیل الکتریکی میگوییم.

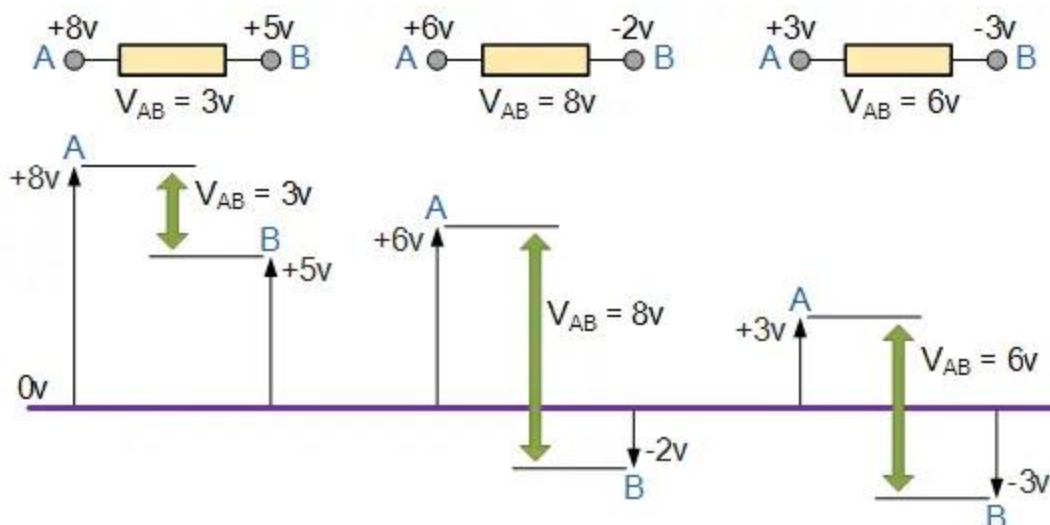


**ولتاژ-اختلاف پتانسیل:**

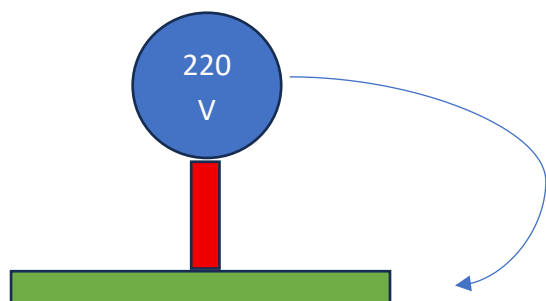
ولتاژ به انرژی الکتریکی می گویند که از یک منبع انرژی خارج میشود و مورد استفاده قرار میگیرد.مانند باطری یا ژنراتور ها.مثلا میگوییم فلان باطری ولتاژ آن ۱۲ ولت است و اینکه فلان دستگاه با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار میکند.

ولی اختلاف پتانسیل همانطور که از اسمش پیداست،به اختلاف ولتاژ بین دو نقطه میگویند.مثلا میگویند اختلاف پتانسیل این نقطه نسبت به زمین.

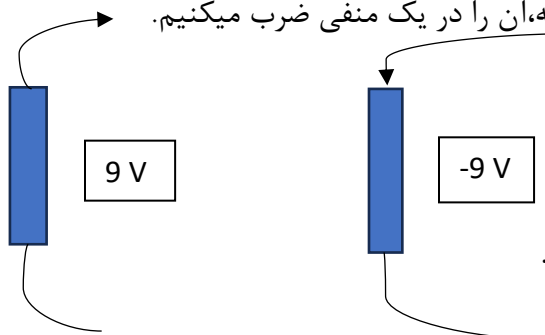
$$A - B = 220 - 0 = 220$$



**نکته مهم:** ولتاژ زمین همواره صفر است.



**نکته:** هرگاه بخواهیم جهت پلاریته را عوض کنیم در یک معادله، آن را در یک منفی ضرب میکنیم.

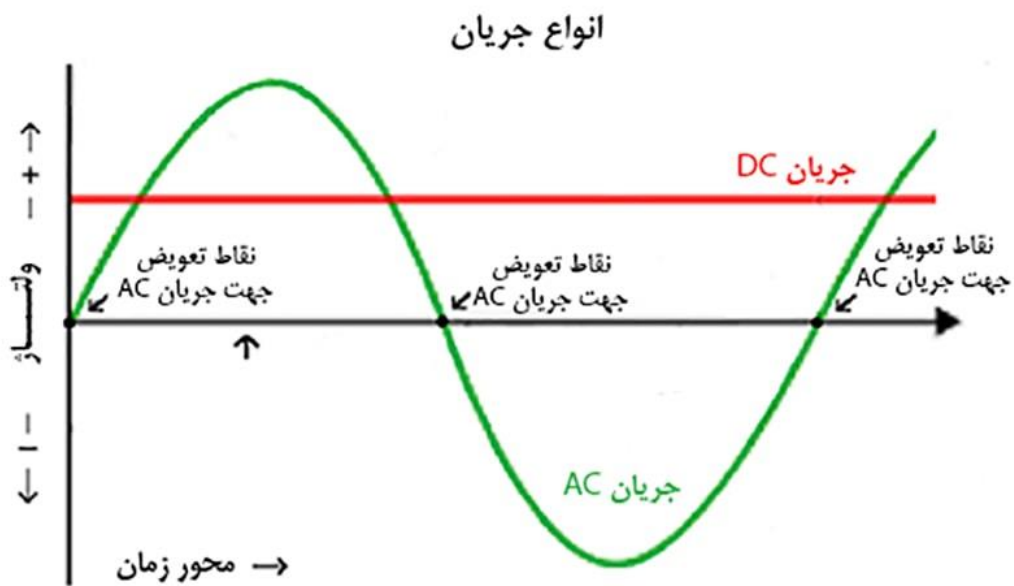


**منبع تغذیه:** منبعی که ولتاژ یا پتانسیل الکتریکی را تامین کند.

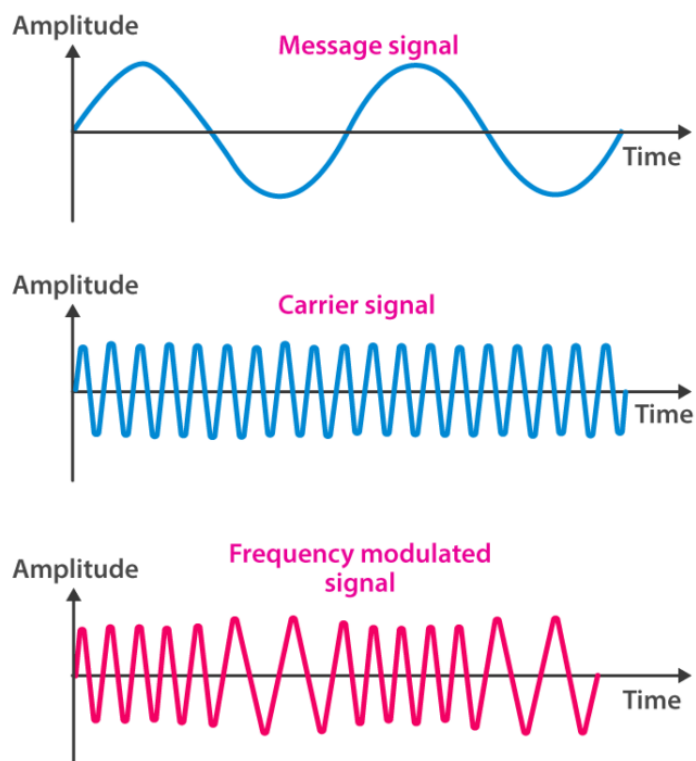


انواع منبع تغذیه:

۱. ثابت DC فرکانس برابر صفر. Direct Current.
۲. متناوب AC فرکانس متغیر. Alternating current.

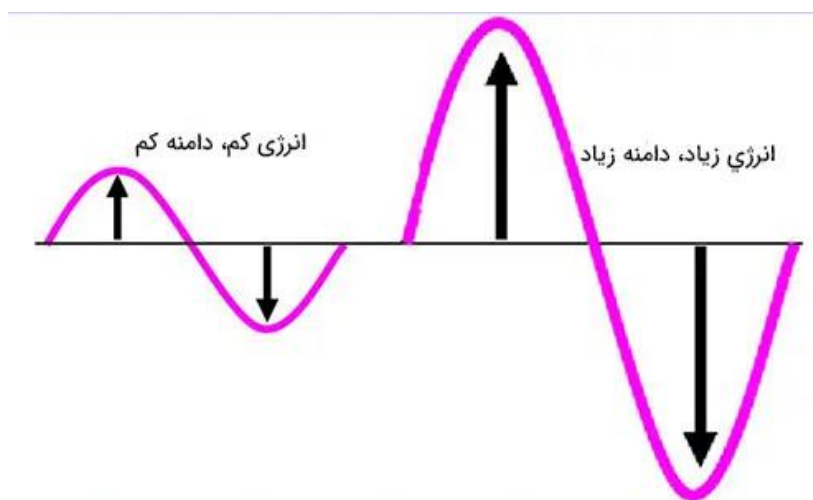


فرکانس (بسامد): تعداد سیکل های تکرار در واحد زمان را میگویند.



© Byjus.com

**دامنه (پریود):** مدت زمان تکرار را می گویند. بازه زمانی تکرار را می گویند.



**نکته:** در ولتاژ های DC مقادیر ولتاژ و جریان معمولاً ثابت است.

**نکته:** ولتاژ را در حالت AC معمولاً بدین صورت نشان میدهند.

$$V = V_m \sin(\omega t)$$

**نکته:** با توجه به فرکانسی که به مدار می دهیم رفتار آن عوض شده و جریان بدین صورت نشان داده میشود.

$$I(t) = I_m \sin(\omega t)$$

$\omega$ : فرکانس زاویه ای معادل زمان جریان است.

**نکته:** معادله کلی

$$A(t) = A_m \sin(\omega t + \alpha)$$

**نکته:** معادله زمانی ولتاژ و جریان

**Am:** مقدار ماکزیمم آن پارامتر

$\omega$ : فرکانس زاویه ای

**t:** زمان

$\alpha$ : فاز

## توان الکتریکی در منابع DC:

طبق یک تعریف رسمی و متداول، هر شکلی از توان (الکتریکی، مکانیکی، گرمایی و...) برابر با نرخ انرژی یا کاری است که مصرف یا انجام می‌شود. واحد استاندارد توان، «وات (Watt)» یا «ژول بر ثانیه» است. توان الکتریکی یک بار، نرخ انرژی الکتریکی است که - از طریق یک مدار الکتریکی - به آن تحویل داده می‌شود و به شکل دیگری از انرژی (مانند گرما، نور، صدا، شیمیایی، جنبشی و...) تبدیل می‌شود. توان را بر حسب کمیت‌های الکتریکی ولتاژ و جریان، می‌توان با فرمول استاندارد زیر محاسبه کرد:

گفته شد که طبق قرارداد جریان از سمت مثبت وارد می‌شود.

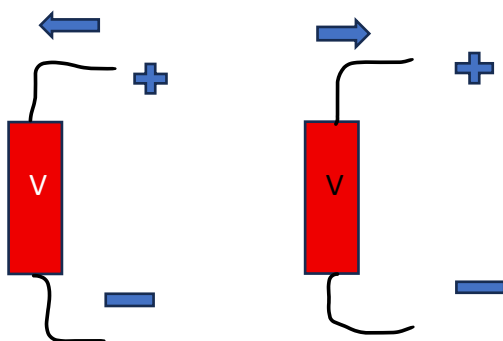
$$P = V \cdot I$$

$$P = \frac{d\omega}{dt}$$

$$P = V \cdot I > 0 \rightarrow \text{مصرفی (لامپ)}$$

$$P = V \cdot I < 0 \rightarrow \text{تولیدی (ژنراتور)}$$

نکته: طریقه محاسبه توان

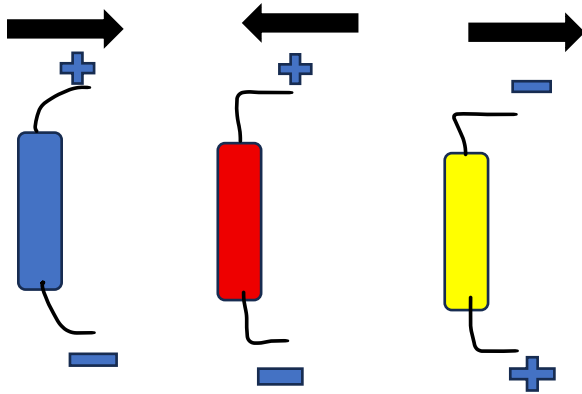


نکته:

$$a \rightarrow P = V \cdot I$$

$$b \rightarrow P = -(VI)$$

مثال: جریان در هر سه شکل 3A و ولتاژ 4V است.



$$P = 4 \times (-3) = -12$$

$$P = 4 \times 3 = 12$$

$$P = 4 \times 3 = 12$$

جلسه سوم:

## تحلیل مدارهای الکتریکی (مقاومتی)

ما در جلسات قبل پیرامون الکترون-نوترون-پروتون صحبت کردیم

تجهیزات برقی-ژنراتورها-ترانسفورماتور ها-موتور ها

حال فرض میکنیم که این تجهیزات به هم وصل شده اند و میخواهیم آن ها را شبیه سازی و مدل سازی کنیم و در نهایت تحلیل کنیم.

**مثال:** یک سیمی که ۱ کیلومتر طول دارد را با یک مقاومت یا خازن یا سلف مدل میکنیم.

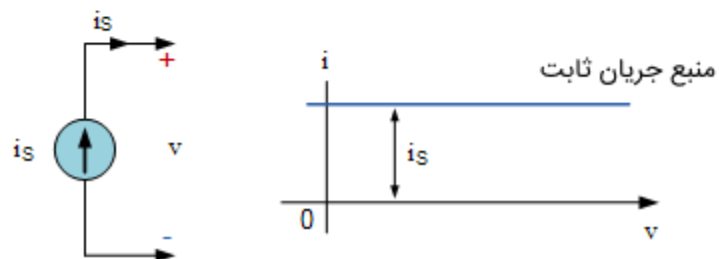
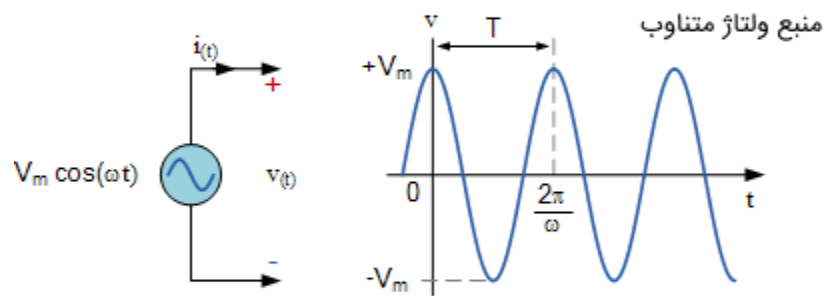
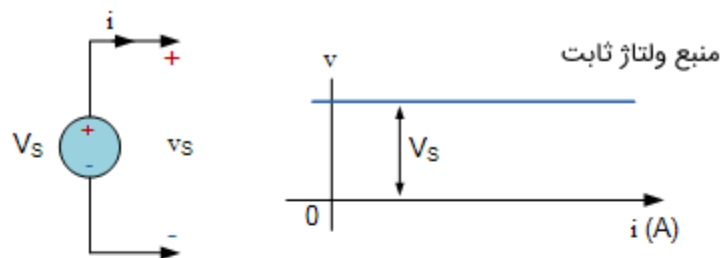
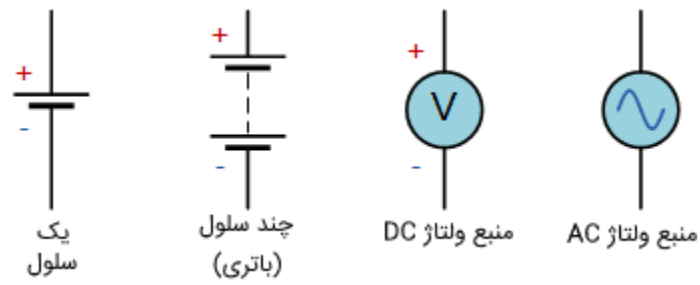


## المان های مدار:

**منبع ولتاژ:** منبعی است که پتانسیل الکتریکی دارد. (ژنراتور-باتری-دیزل ژنراتور)

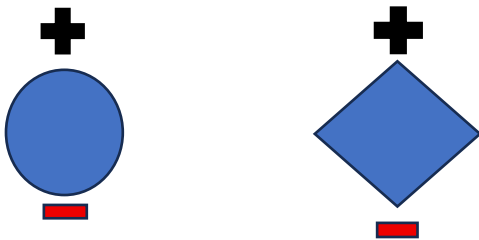
یک منبع الکتریکی یا به اختصار «منبع»، دستگاهی است که توان الکتریکی مدار را به فرم منبع ولتاژ یا منبع جریان تامین می کند. هر دو نوع منابع ولتاژ و جریان را می توان در دسته منابع جریان مستقیم (DC) یا جریان متناوب (AC) قرار داد. برای مثال، باتری یک منبع DC و پریز ۲۳۰ ولتی روی دیوار خانه، یک منبع AC است.

گفتیم که منابع الکتریکی، انرژی الکتریکی مدار را تامین می کنند. اما یکی از مشخصه های جذاب منابع این است که انرژی غیرالکتریکی را به انرژی الکتریکی و بالعکس تبدیل می کنند. برای مثال، یک باتری، انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند، در حالی که یک ماشین الکتریکی مانند ژنراتور DC یا AC، انرژی مکانیکی را به فرم انرژی الکتریکی تحویل می دهد.

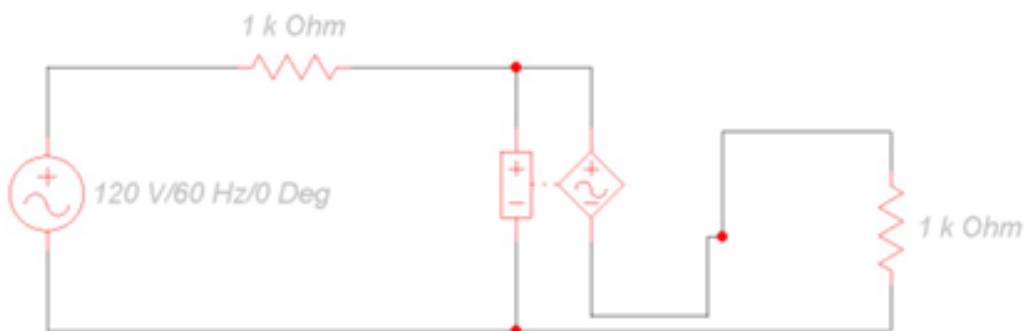


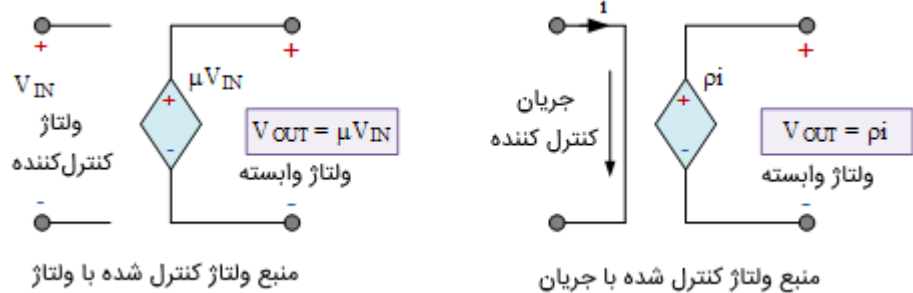
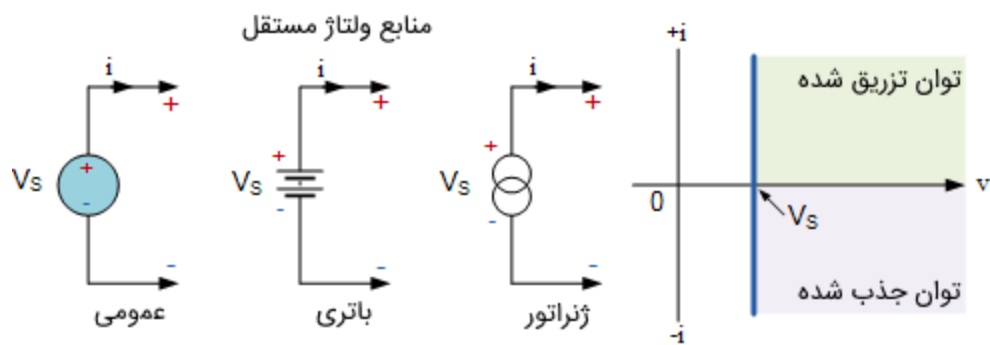
## انواع منابع ولتاژ:

۱. منبع ولتاژ مستقل: منابعی هستند که مقدار ولتاژ آنها مشخص و ثابت است و نماد آنها در مدارهای الکتریکی غالباً به صورت دایره با پلاریته مثبت و منفی است.
۲. منبع ولتاژ وابسته: منابعی هستند که مقدار آنها وابسته به یک عنصر یا یک المان دیگر در مدار هستند و میزان ولتاژ آنها متغیر است و بسته به شرایط مدار تغییر میکند و نماد آنها در مدارهای الکتریکی به صورت لوزی است.



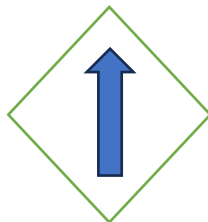
## مثال:

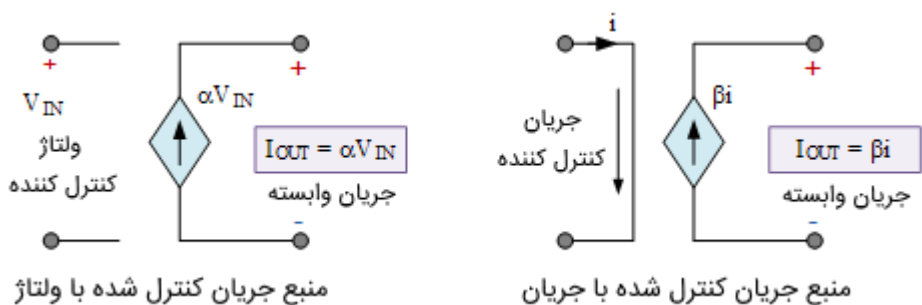
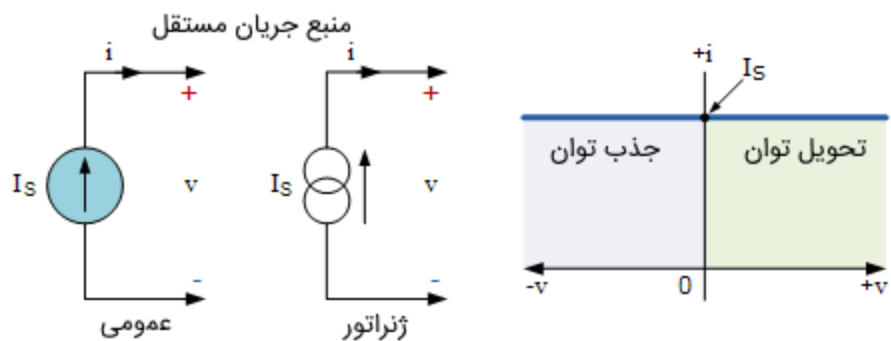




## انواع منابع جریان:

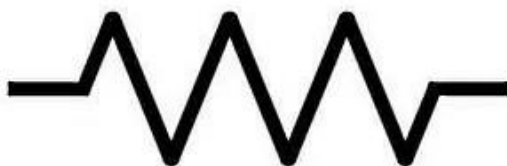
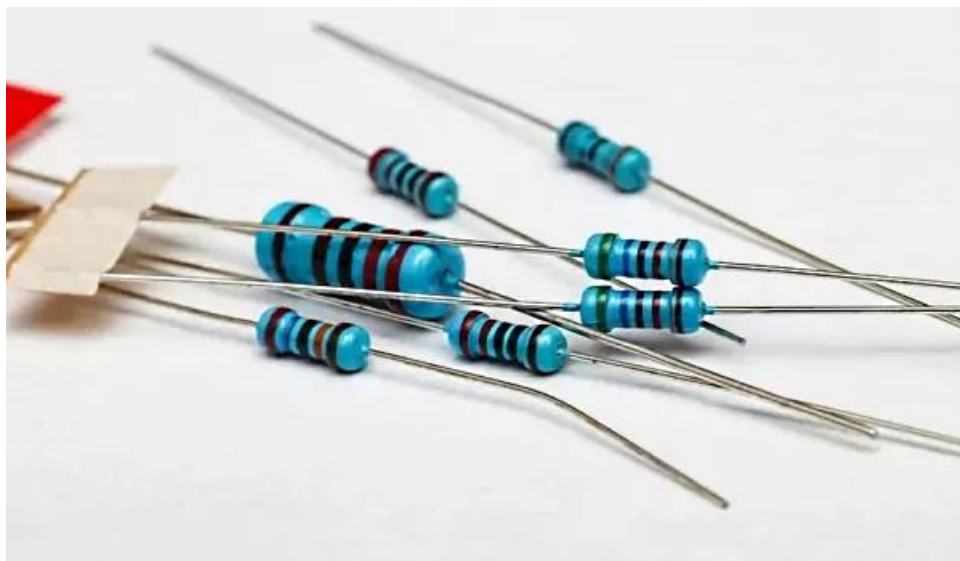
۱. منبع جریان مستقل: منابعی هستند که مقدار جریان در آنها ثابت است و نماد آنها در مدارهای الکتریکی بصورت یک دایره با یک فلش در داخل آنها که جهت جریان را نشان میدهد.
۲. منبع جریان وابسته: منابعی هستند که مقدار آنها وابسته به یک عنصر یا المان دیگر در مدار هستند و مقادیر آنها متغیر است. نماد آنها در مدارهای الکتریکی بصورت یک لوزی همراه با یک فلش در داخل آن است که جهت جریان را نشان میدهد.



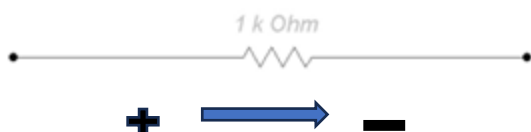


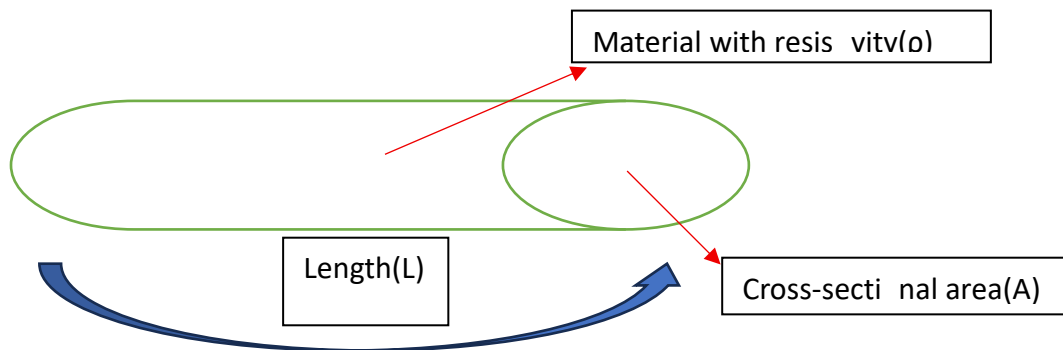
**مقاومت الکتریکی:** مقاومت های الکتریکی المانی هستند از خانواده نیمه هادی ها که در مدار های الکتریکی به منظور کنترل جریان و ولتاژ به کار میروند. انواع مقاومت ها در صنعت الکترونیک وجود دارد مانند مقاومت های ثابت و متغییر.

مقاومت الکتریکی ( $R$ ) یک کمیت مهم در الکتریسیته است که با عبور جریان بیشتر از یک بخش از مدار مخالفت می کند. واحد مقاومت الکتریکی «اوم ( $\text{Ohm}$ )» است و با نماد  $\Omega$  نشان داده می شود. معمولاً داخل برخی از اجزای مدار مانند سیم ها یا باتری ها مقاومت وجود دارد. اما در کنار مقاومت داخلی اجزای مدار، معمولاً در مسیر عبور جریان در مدار نیز از قطعات دو سر یا دو پایه ای ( $\text{Lead}$ ) به نام مقاومت یا رزیستور استفاده می شود تا جریان کنترل شود. پس مقاومت الکتریکی نام یک کمیت فیزیکی مهم و نام قطعه ای در مدار الکتریکی است.



مقاومت ها در برابر عبور جریان ها و حتی مولکول های هوا مقاومت ایجاد میکنند. اگر در یک مدار مقدار ولتاژ را بالا ببریم، جریان نیز افزایش پیدا میکند و در نتیجه مقاومت افزایش پیدا میکند.





**مقاومت ویژه:** هر ماده ای دارای یک مقاومت ویژه است که با حرف (ρ) نشان می‌دهند.

**R=Resistant**

**نکته:** هر چقدر (ρ) بالاتر برود مقاومت الکتریکی نیز بالاتر میرود و هر چقدر (L) بلند تر باشد مقاومت بیشتر میشود و هر چقدر (A) بیشتر شود مقاومت الکتریکی کمتر میشود. واحد اندازه گیری مقاومت الکتریکی اهم است. به احترام آقای سیمون اهم فیزیکدان آلمانی

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad [\Omega]$$

**قانون اهم:**

قانون اهم (Ohm's Law) معادله‌ای است که برای توصیف ارتباط میان سه کمیت مهم در الکتریسیته یعنی جریان الکتریکی، مقاومت و ولتاژ بکار می‌رود. طبق این قانون در هر دمای مشخصی شدت جریان عبوری از یک بخش از مدار الکتریکی با ولتاژ دو سر آن مقطع رابطه مستقیم و با مقاومت سیم نسبت عکس دارد. فرمول‌های مختلفی برای قانون اهم استفاده می‌شود که همگی با هم معادل هستند:

$$V = R \cdot I$$

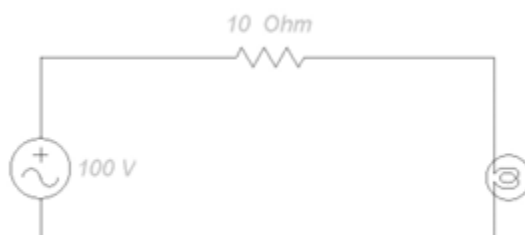
$$R = \frac{V}{I}$$

$$I = \frac{V}{R}$$

مواد مهم:

| محل استفاده | مقاومت ویژه           |          |
|-------------|-----------------------|----------|
| رسانا       | $1.64 \times 10^{-8}$ | Silver   |
| رسانا       | $2.8 \times 10^{-8}$  | Aluminum |
| رسانا       | $2.45 \times 10^{-8}$ | Gold     |
| نیمه هادی   | $6.4 \times 10^2$     | Silicon  |
| عایق        | $10^{10}$             | Paper    |
| عایق        | $10^{12}$             | Glas     |

مثال:



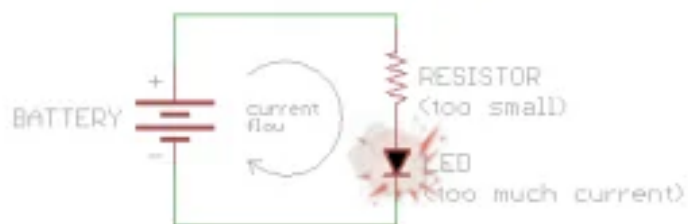
$$V = R \cdot I \rightarrow 100 = 10 \cdot I \rightarrow I = 10A$$

ولتاژ دوسر مدار در این حالت ۵۰ ولت است و جریان مصرفی بسیار بالاست نشان دهنده این است که تلفات خیلی بالاست و اصلا به صرفه نیست.

## جلسه چهارم

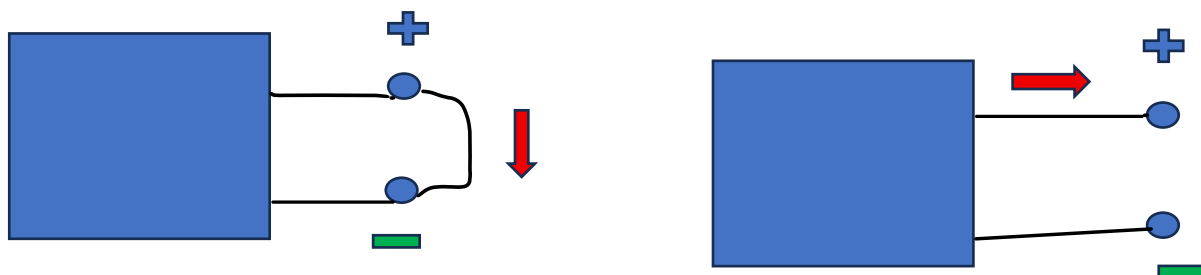
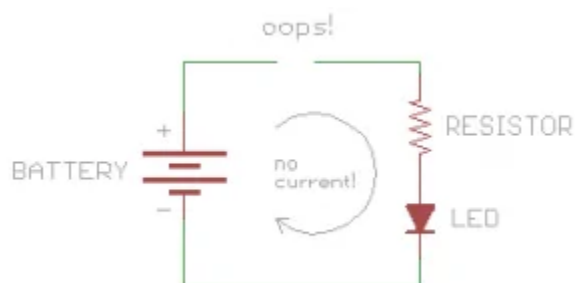
### مفهوم مدار باز (VOC) و اتصال کوتاه (ISC):

اگر شما ندانسته یک سیم را مستقیماً از سمت مثبت منبع تغذیه به سمت منفی آن متصل کنید، یک مدار اتصال کوتاه ساخته‌اید.



**نکته:** اگر متوجه شدید که همه چیز ناگهان داغ شد یا بخشی از مدار ناگهان آتش گرفت، سریع مدار را قطع کنید و به دنبال اتصال کوتاه در بخشی از آن باشید.

نقطه مخالف اتصال کوتاه مدار باز است. در این مدار بخشی از سیم باز است و در نتیجه مدار کامل نیست.



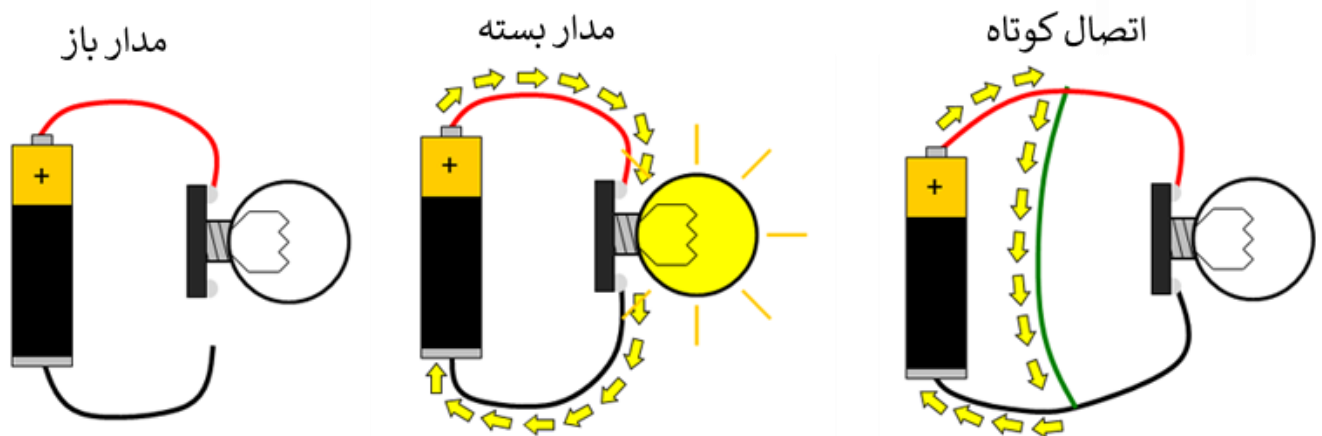
در حالت اول سمت چپ هنگامی که اتصال کوتاه داریم آنگاه:

$$V = 0 \text{ و } R = 0 \rightarrow I = \infty$$

به همین دلیل برق گرفتگی اتفاق می افتد. چون هیچ مقاومتی نداریم و جریان ناگهان افزایش پیدا کرده و تخلیه میشود.

در حالت دوم در سمت راست، وقتی مدار باز میشود جریان صفر شده و مقاومت بینهایت میشود. یعنی:

$$R = \infty \text{ و } I = 0 \rightarrow V = 0$$



**نکته مهم:** در تحلیل مدارات هنگامی که بخواهیم منبع جریان را حذف کنیم مدار باز میکنیم و اگر بخواهیم منبع ولتاژ را حذف کنیم، اتصال کوتاه میکنیم.

**مثال:** در مدار زیر مقدار توان مقاومت را حساب کنید؟



$$P = V.I, \quad V = R.I \quad \text{و} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{و} \quad R = \frac{V}{I}$$

$$(1) \rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{30}{5 \times 10^3} = 6 \times 10^{-3} \text{ A} \rightarrow P = 30(6 \times 10^{-3}) = 180 \times 10^{-3} \\ = 180 \text{ mw}$$

$$(2) \rightarrow P = V.I = V \left( \frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R} \rightarrow \frac{30 \times 30}{5 \times 10^3} = 180 \text{ mw}$$

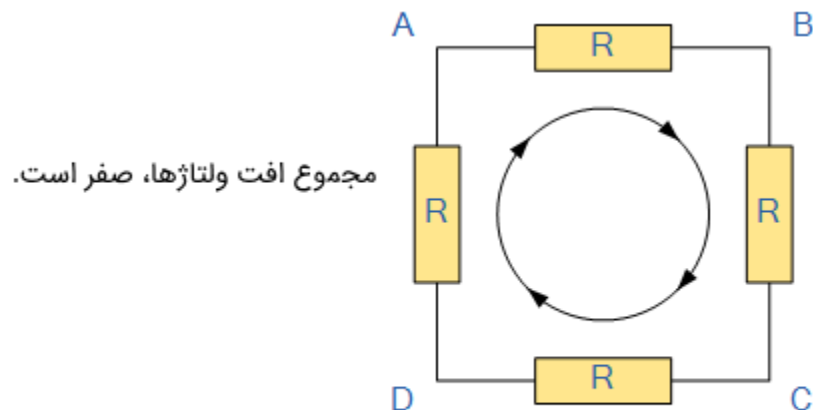
$$(3) \rightarrow P = V.I \rightarrow (R.I).I = R.I^2 = (5 \times 10^3)(6 \times 10^{-3})^2 = 180 \text{ mw}$$

تحلیل مدار های مقاومتی:

قانون KVL: (قانون کیرشهف) Kirchhoff voltage laws

مجموع ولتاژهای داخل یک حلقه بسته برابر صفر است. به عبارت دیگر، مجموع تمام ولتاژهای حلقه باید برابر با صفر باشد. این ایده کیرشهف، به عنوان بقا یا پایداری انرژی نیز شناخته می شود.

$$\sum V = 0$$

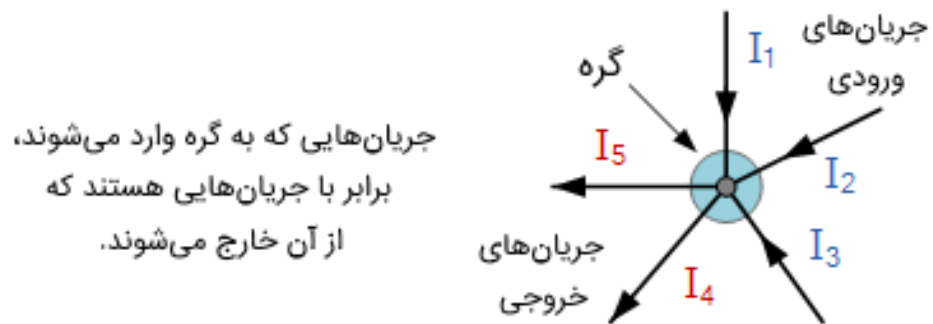


$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} + V_{DA} = 0$$

### قانون KCL: (قانون کیرشهف) Kirchhoff current Laws

مجموع جریان های ورودی برابر است با مجموع جریان های خروجی

$$\sum I_{\text{ورودی}} = \sum I_{\text{خروجی}}$$

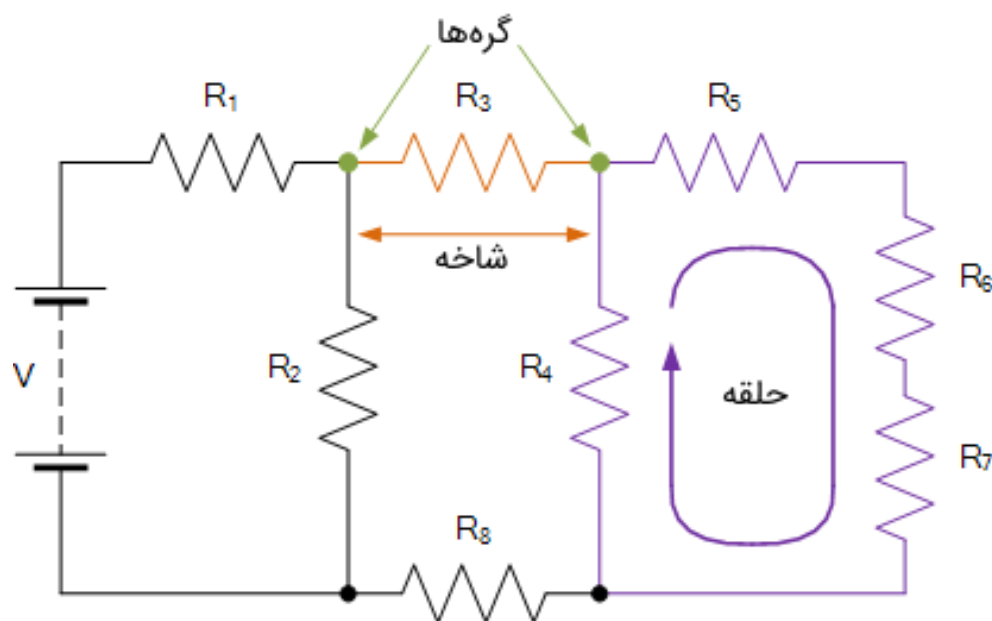


جریان هایی که به گره وارد می شوند،  
برابر با جریان هایی هستند که  
از آن خارج می شوند.

$$I_1 + I_2 + I_3 + (-I_4 + -I_5) = 0$$

قانون جریان کیرشهف یا KCL بیان می کند: «جریان یا بار الکتریکی وارد شده به یک گره دقیقاً برابر با بار یا جریانی است که از آن خارج می شود». به عبارت دیگر، مجموع جبری تمام جریان های وارد شده به یک گره باید برابر صفر باشد.

$$I_{(exiting)} + I_{(entering)} = 0$$



### اصطلاحات مدارهای DC

- **مدار (Circuit):** یک مدار، مسیر هادی حلقه بسته‌ای است که جریان الکتریکی در آن برقرار می‌شود.
- **مسیر (Path):** یک خط از عناصر یا منابع متصل به هم است.
- **گره (Node):** گره، یک اتصال یا پیوند از مدار است که در آن، دو یا بیشتر از دو عنصر مدار به هم متصل هستند. گره را با یک نقطه مشخص می‌کنیم.
- **شاخه (Branch):** شاخه، یک یا گروهی از اجزای مدار مانند مقاومت یا منبع است که بین دو گره وصل شده‌اند.
- **حلقه (Loop):** حلقه، یک مسیر بسته در مدار است که اگر از یک نقطه شروع کنیم و به همان جا برگردیم، بیش از یک بار از هر عنصر عبور نکرده باشیم.
- **مش (Mesh):** مش، ساده‌ترین حلقه مدار است که شاخه‌ای در آن نیست.

**مثال:** در مدار زیر مقدار جریان و ولتاژ مقاومت ها را حساب کنید؟



$$KVL = -20 + V_1 - V_2$$

**نکته:** در هر حلقه جریان ها برابر است. در این حلقه یک جریان  $I$  عبور میکند.

$$V_1 = R_1 \cdot I = 2I$$

$$V_2 = R_2 \cdot I = -3I$$

$$\Rightarrow -20 + (2I) + (+3I) = 0 \Rightarrow 5I = 20 \Rightarrow I = 4 \text{ A}$$

$$V_1 = 8 \text{ V}$$

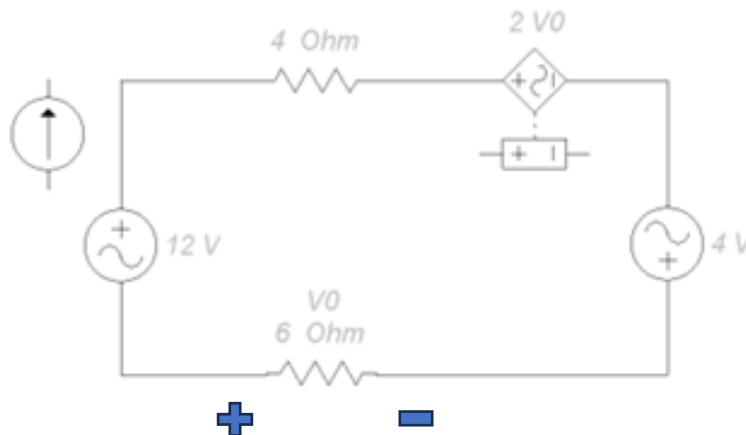
$$V_2 = 12 \text{ V}$$

**نکته:** در هر مدار باید جریان هر شاخه را حساب کرد.

**نکته:** در هر مدار در هر حلقه جریان برابر است.

## جلسه پنجم

مثال: در مدار زیر مقدار جریان مدار را حساب کنید؟



نکته: در اینجا یک منبع ولتاژ وابسته داریم که با مقاومت ۶ اهم در ارتباط است و در میزان اندازه ولتاژ آن تاثیر دارد.

اول یک KVL میزنیم:

$$KVL(1): -12 + (4i) + (2V_0) - 4 + (6i) = 0$$

$$V = R \cdot I \rightarrow V_0 = -6i \Rightarrow KVL: -16 + 10i + 2(-6i) = 0$$

$V_0$ : عنصر مزاحم است که باید حذف میشد

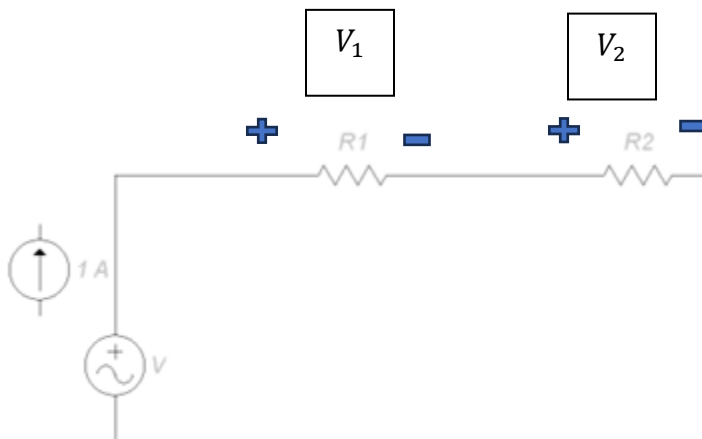
$$-16 + 10i - 12i = 0 \Rightarrow i = -8 A$$

$$V_0 = -6i \Rightarrow V_0 = -6(-8) = 48 V$$

$$2V_0 = 2(48) = 96 V$$

### تحلیل مدار سری مقاومتی:

مداراتی که فقط یک جریان دارند، عناصر آن مدار سری هستند و جریان‌ها برابر هستند. مداراتی که المان‌های آن بطور متوالی پشت سر هم باشند.



**نکته:** در مدارات سری مقاومت کل برابر است با جمع مقاومت‌ها.

$$KVL = -V + (V_1) + (V_2) = 0$$

$$V = R_1 i + R_2 i \Rightarrow R_T \cdot i = (R_1 + R_2) i$$

**نکته مهم:** قانون اهم

$$V = R \cdot I$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$I = \frac{V}{R}$$

بنابر قانون اهم نتیجه میگیریم:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$i_T = i_1 = i_2 = \dots$$

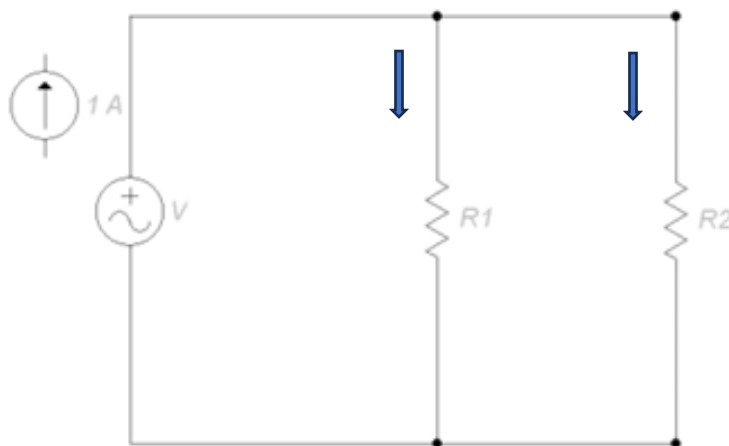
نکته مهم: تقسیم ولتاژ

$$V_1 = V \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = V \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

تحلیل مدار های موازی مقاومتی:

در مدار های موازی مقاومتی ولتاژ دو سر تمام المان ها با هم برابر است.



$$V_T = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

نکته: هرچقدر مقاومت کمتر باشد جریان بیشتری عبور میکند.

$$(KCL) i_T = i_1 + i_2 \rightarrow \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \Rightarrow V = \left( \frac{1}{R_1} \right) + \left( \frac{1}{R_2} \right)$$

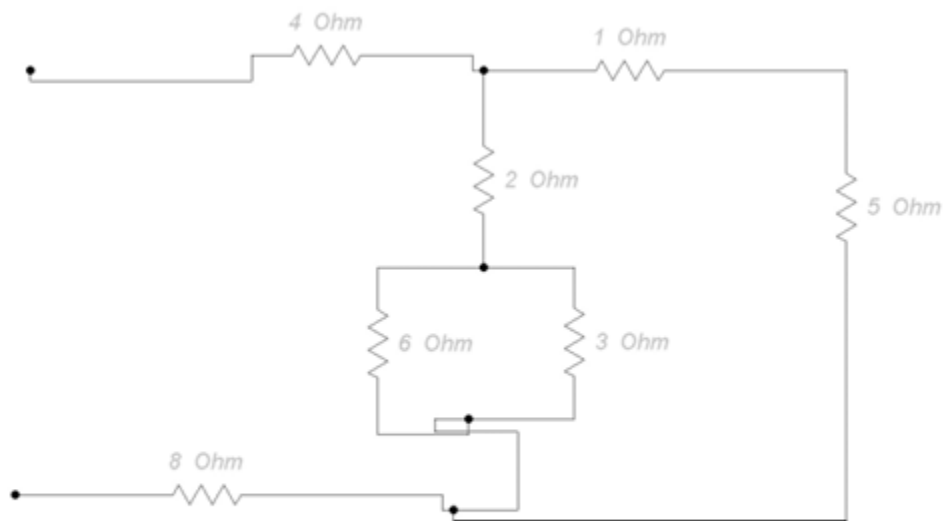
$$\frac{1}{R_T} = \left( \frac{1}{R_1} \right) + \left( \frac{1}{R_2} \right) + \dots + \left( \frac{1}{R_n} \right)$$

قانون تقسیم جریان:

$$i_1 = i \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$i_2 = i \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

مثال: مقاومت معادل مدار زیر را پیدا کنید؟



$$R_1 = 1 + 5 = 6$$

$$R_2 = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2$$

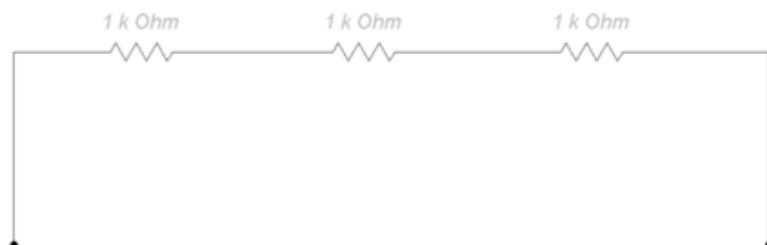
$$R_3 = 2 + 2 = 4$$

$$R_4 = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 2.4$$

$$R_5 = 4 + 2.4 + 8 = 14.4$$

جلسه ششم

ترکیب سری مقاومت ها:



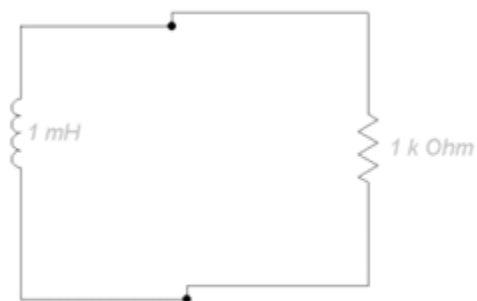
نکته: با توجه به اینکه تمام عناصر سری در یک شبکه جریان های مساوی دارند پس:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$V = R_1 I + R_2 I + \dots$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

ترکیب موازی مقاومت ها:

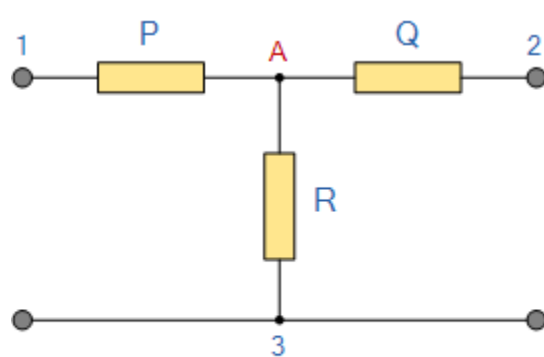


$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

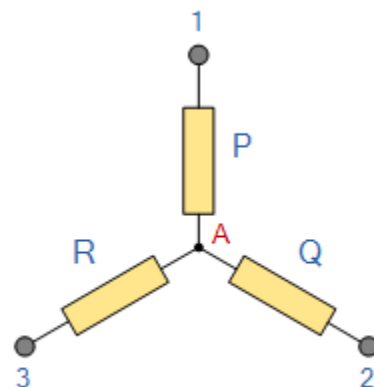
$$\frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \dots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

### اتصال ستاره:



اتصال T

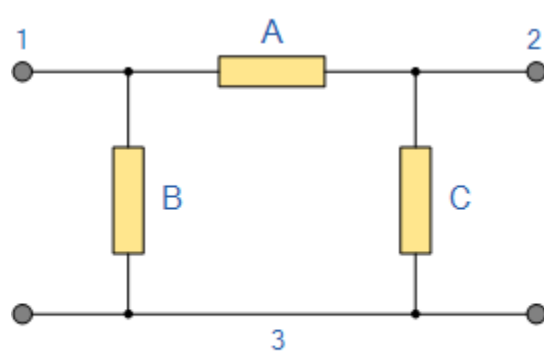


اتصال ستاره

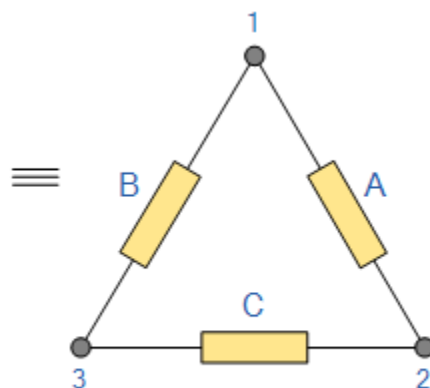
اگر سه تا مقاومت در یک نقطه اشتراک داشته باشند اتصال ستاره میگوییم.

### اتصال مثلث:

اگر ۳ تا مقاومت دو به دو بهم وصل باشند میگوییم اتصال مثلث.



اتصال پی



اتصال مثلث

تبدیل اتصال ستاره به مثلث و برعکس:

مثلث به ستاره:

$$R_1 = \frac{R_b \cdot R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_a \cdot R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_3 = \frac{R_b \cdot R_a}{R_a + R_b + R_c}$$

ستاره به مثلث:

$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1}$$

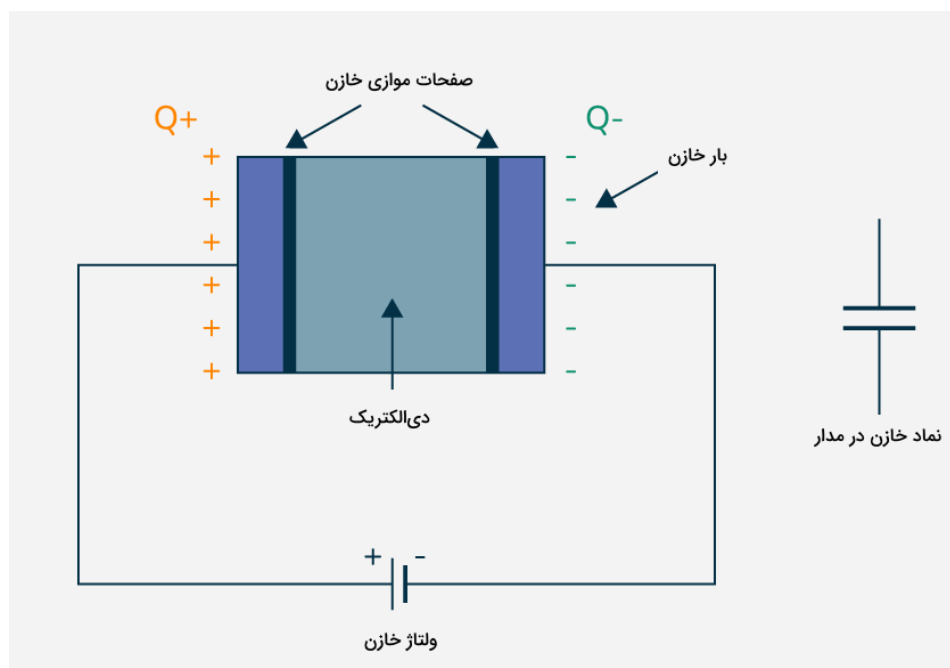
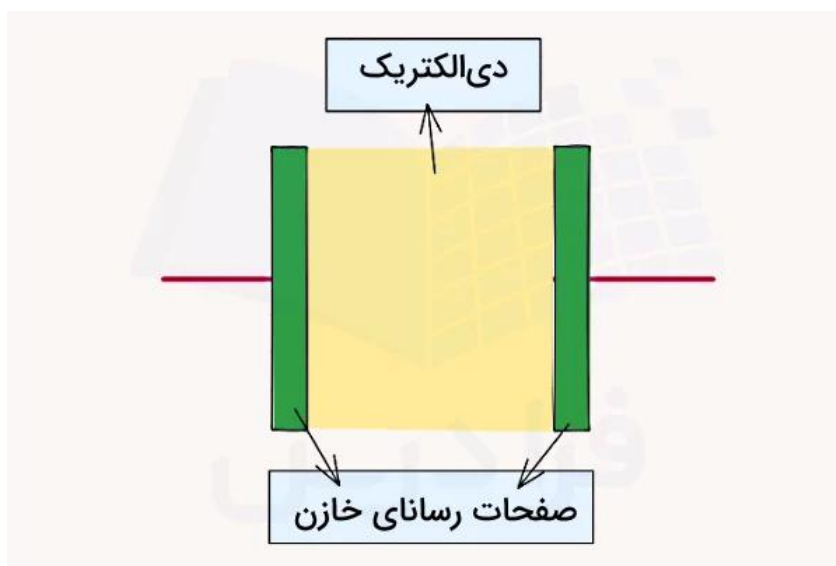
$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2}$$

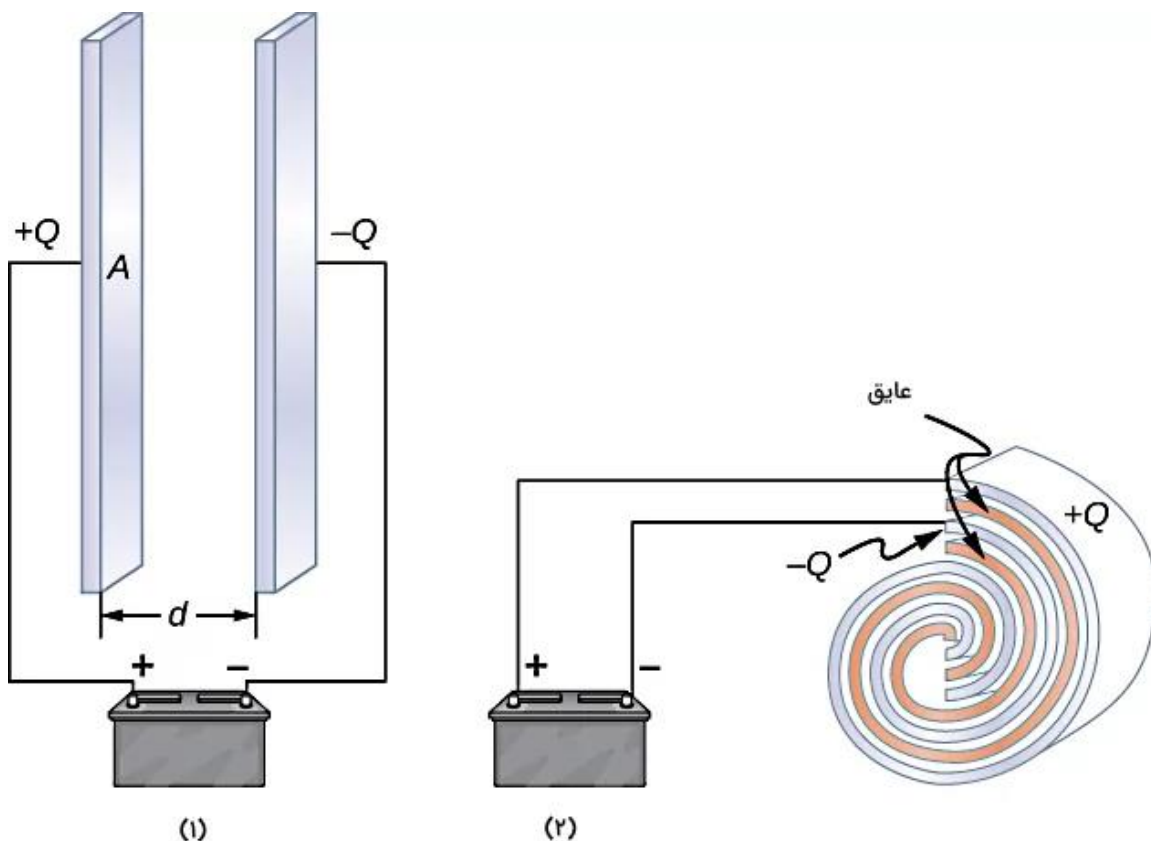
$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3}$$

جلسه هفتم

خازن در مدار:

دو صفحه رسانا را به موازات هم قرار می‌دهیم و به اندازه  $d$  از یکدیگر فاصله داشته باشند تشکیل خازن می‌دهند. Capacitor.





**نکته:** خازن ها میتوانند بار الکتریکی را در خود ذخیره کنند. این عایق بین دو صفحه میتواند هوا باشد و هم میتواند از یک نوع عایق باشد. اپوکسی، پلی اتیلن

**نکته:** وقتی یک خازن را به یک منبع الکتریکی وصل میکنیم باردار میشود. البته خازن های الکتریکی این خاصیت را دارند و بصورت میدان الکتریکی ذخیره میکنند.

### انواع خازن:

۱. **سرامیکی:** غیر قطبی هستند- کاربرد آن ها در فیلتر کردن نویز است- استفاده در مدارات فرکانس بالا RF
۲. **الکترولیتی:** قطبی هستند- ظرفیت بالا- صاف کردن ولتاژ- منابع تغذیه
۳. **تانتالیومی:** قطبی هستند- در موبایل ها و فضاهای بسیار کوچک
۴. **فیلمی:** غیر قطبی- بسیار پایدار- در مدارات بسیار دقیق
۵. **متغییر:** غیر قطبی- مدارهای رادیویی- آنتن ها

خازن ها از لحاظ ظاهر:

۱. صفحه ای

۲. استوانه ای

۳. کروی

**نکته:** خازن ذخیره ساز بار  $q$  است که باعث تشکیل میدان الکتریکی  $E$  میشود.

**ظرفیت خازنی:**  $C$  واحد آن  $F$  فاراد است.

**مقدار بار ذخیره شده:**

$$q = C.V$$

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r \times \frac{A}{d}$$

**نکته:** ضریب گذردهی الکتریکی  $\epsilon_0$  برای خلا و  $\epsilon_r$  برای عایق است.

$$\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r \quad \frac{F}{m} \text{ متر بر فارادی}$$

**نکته:**  $\epsilon_r$  برای هر ماده فرق دارد، مثلاً برای هوا یک است.  $\epsilon_0$  برای خلا است و مقدار آن:

$$8.85 \times 10^{-12}$$

**نکته:** پارامترهای نوشته شده بر روی خازن نشان دهنده ظرفیت و میزان ولتاژ قابل تحمل آن است.

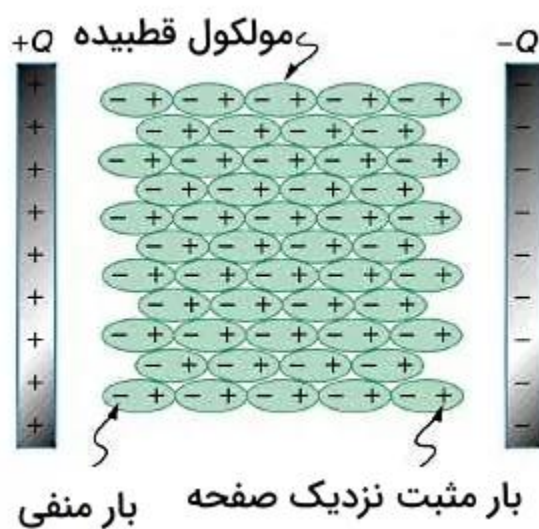
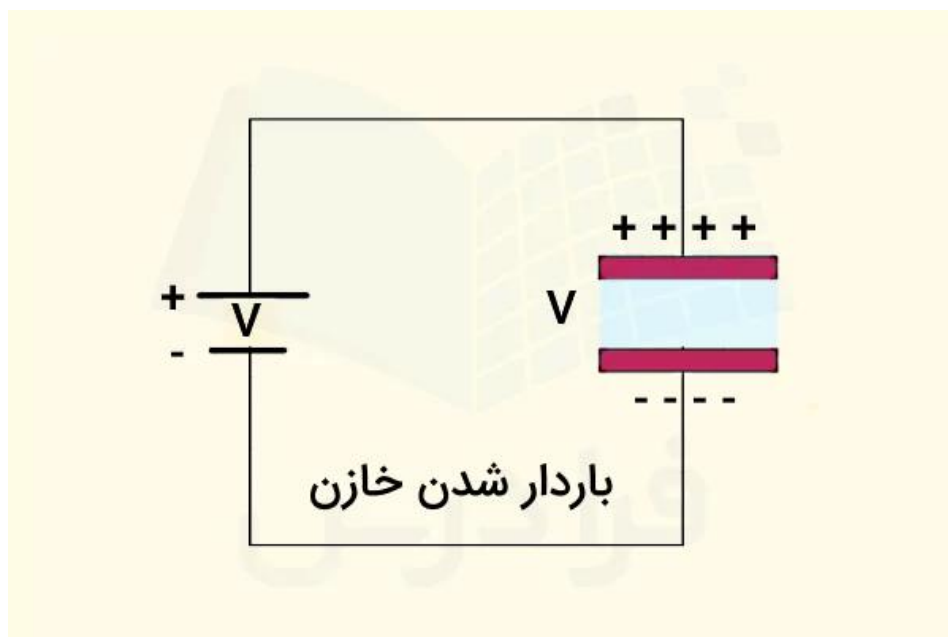
$$q = C.V \rightarrow I = \frac{dq}{dt} \rightarrow C = \frac{dCV}{dt}$$

چون ظرفیت خازن عدد ثابت است پس  $C$  بیرون می آید:

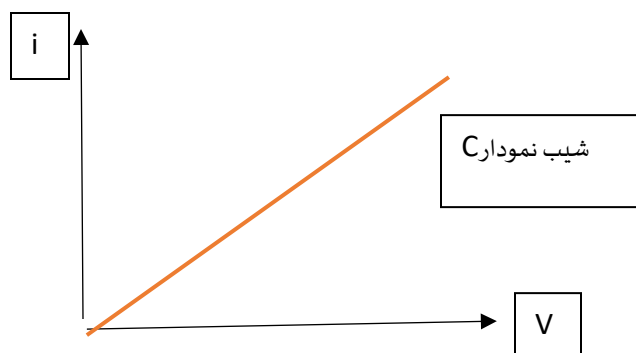
$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int i. dt + (V_0)$$

**نکته:** برای محاسبه ولتاژ خازن عکس جریان که مشتق گیری کردیم، انتگرال میگیریم.



**نکته:** بدلیل اینکه همیشه احتمال این است که در یک خازن کمی ولتاژ باقی مانده باشد، اگر بخواهیم استفاده کنیم اول اتصال کوتاه میکنیم. بدلیل اینکه ممکن است به سایر قطعات یا خودمان شوک وارد کند. آن ولتاژ در رابطه  $V_c$  به عنوان  $V_0$  اعمال میشود.



$$i_c = C \frac{dV}{dt}$$

حال اگر بخواهی بر حسب  $q$  و  $V$  بنویسیم:

$$q = C \cdot V$$

**انرژی ذخیره شده خازن:**

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

**مثال:** اگر بار ذخیره شده در یک خازن برابر با  $3pf$  باشد و ولتاژ دوسر خازن  $20v$  مقدار انرژی خازن را حساب کنید؟

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \rightarrow q = 3pf = 3 \times 10^{-12} c$$

$$q = c \cdot v \rightarrow c = \frac{q}{v} \rightarrow \frac{3 \times 10^{-12}}{20} = \frac{3}{20} pf$$

$$W = \frac{1}{2} \left[ \frac{3}{20} \times 10^{-12} \right] [20 \times 20] = 3 \times 10^{-11} j$$

**نکته:** انرژی بر حسب ژول است.

**مثال:** اگر ولتاژ دو سر یک خازن ۵ میکرو فاراد به صورت زیر باشد مقدار جریان خازن را حساب کنید؟

$$V = 10 \cos(6000t)$$

$$i_c = C \frac{dv}{dt} \rightarrow 5 \times 10^{-6} \times \left( \frac{d(10 \cos 6000t)}{dt} \right)$$

$$i_c = 5 \times 10^{-6} \times 10 \times 6000 \times (-\sin 6000t) = -0.3 \sin 6000t$$

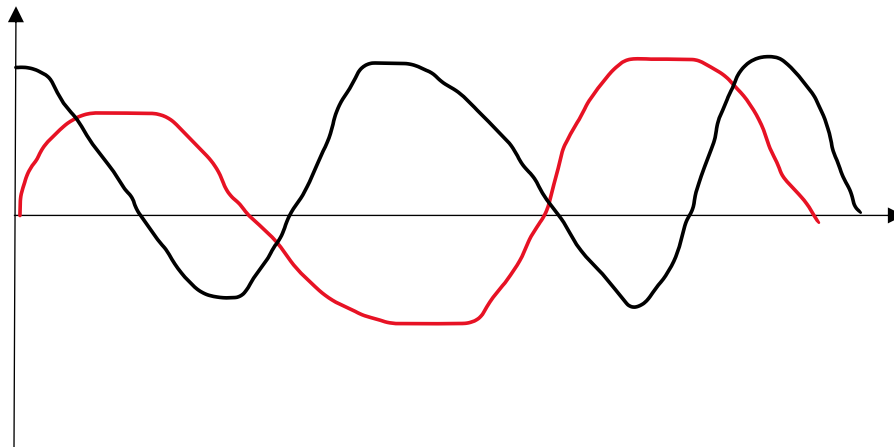
**نکته مهم:** مشتق ها

$$\cos = -\sin$$

$$\sin = \cos$$

**نکته:** اگر ما خازن را ایده آل در نظر بگیریم، بین ولتاژ و جریان ۹۰ درجه اختلاف فاز است. در خازن جریان

همیشه از ولتاژ جلوتر است.



جلسه هشتم:

بررسی رفتار خازن:

۱. گذرا: یعنی در حد ms

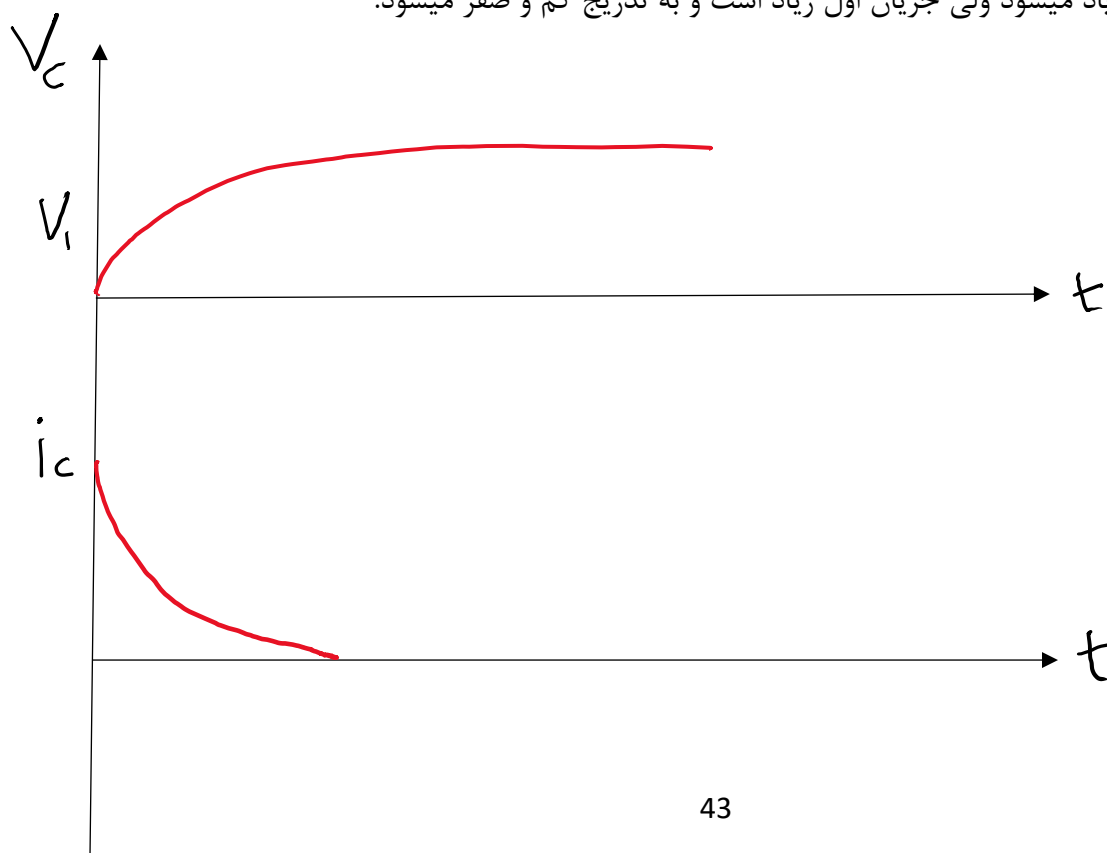
۲. حالت پایدار: یعنی چند ثانیه



وقتی کلید را روشن میکنیم در زمان صفر ثانیه، ولتاژ کم کم زیاد میشود تا به اشباع برسد. جریان اول بسیار زیاد است و بتدریج که خازن شارژ میشود به سمت صفر میرود.

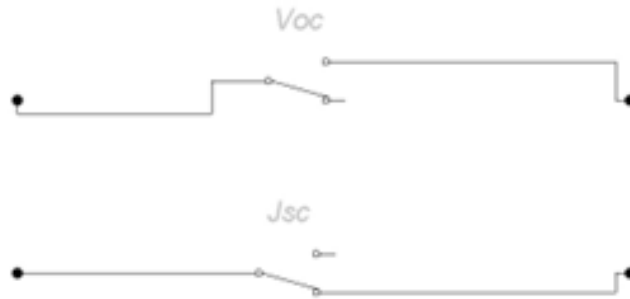
**نکته:** ولتاژ دوسر خازن اول صفر است.

**نکته:** ولتاژ آرام آرام زیاد میشود ولی جریان اول زیاد است و به تدریج کم و صفر میشود.



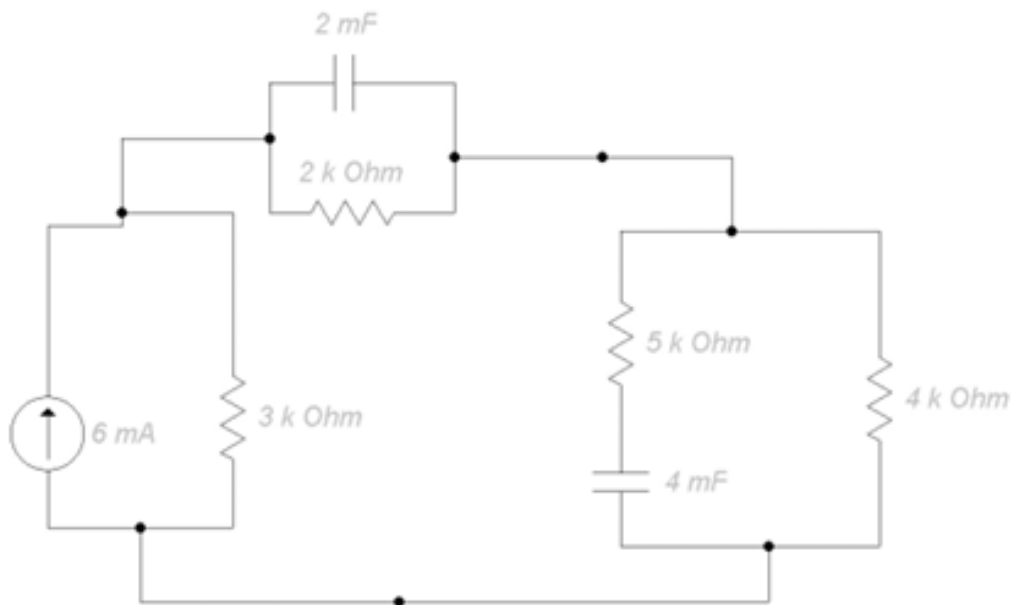
**نکته:** در مدار های الکتریکی زمانی که اتصال کوتاه داریم این اتفاق می افتد. در لحظه اول کلید زنی خازن مانند اتصال کوتاه عمل میکند.

**نکته:** زمانی جریان صفر میشود و ولتاژ بینهایت میشود که مدار باز داشته باشیم.



**نکته:** معمولا حالت پایدار را بررسی میکنیم و حالت گذرا پیچیدگی هایی دارد که نیاز نیست.

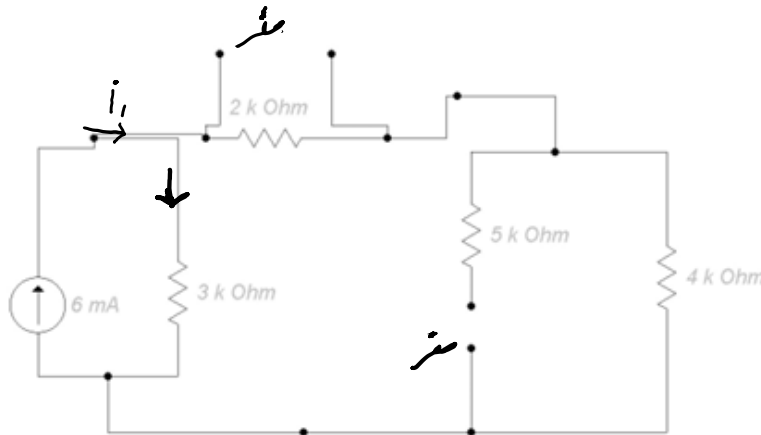
**مثال:** انرژی ذخیره شده در خازن ها را بیابید؟



**نکته:** چون دوتا خازن داریم باید ولتاژ هر کدام را بدست آوریم.

**نکته:** خازن ها در حالت پایدار مدار باز میشوند.

وقتی خازن ها مدار باز میشوند مدار معادل ما تبدیل میشود به این حالت:



ولتاژ دوسر خازن بالا برابر است با ولتاژ دوسر مقاومت روبرو و همچنین ولتاژ دوسر خازن دوم برابر است با ولتاژ دو سر مقاومت روبرو.

$$i = 6 \times 10^{-3} \times \frac{3 \times 10^3}{9 \times 10^3} = 2 \times 10^{-3} = 2mA$$

در صورت مقاومت مسیر جریانی که نمیخواهیم.مخرج مجموع مقاومت ها.

$$V_1 = (2 \times 10^3)(2 \times 10^{-3}) = 4 V = V_{c1}$$

$$V_2 = (4 \times 10^3)(2 \times 10^{-3}) = 8 V = V_{c2}$$

$$W_{c1} = \frac{1}{2} C_1 V_{c1}^2 = \frac{1}{2} (2 \times 10^{-3}) \times 16 = 16 mj$$

$$W_{c2} = \frac{1}{2} C_2 V_{c2}^2 = \frac{1}{2} (4 \times 10^{-3}) \times 64 = 128 mj$$

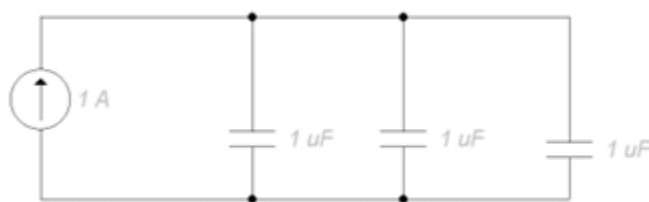
$$W = 16 + 128 = 144 mj$$

جلسه نهم:

### تحلیل موازی خازن:

وقتی چند خازن به صورت شکل زیر قرار بگیرند حالت اتصال موازی برقرار میشود.

در این حالت جریان ورودی در هر شاخه و هر خازن فرق دارد. ولتاژ مانند حالت موازی مقاومت است و تمام ولتاژ های خازن ها برابر است. با استفاده از روابط خازن ها تحلیل میکنیم.



**نکته:** به دلیل اینکه جریان های مختلف در شاخه های مختلف است پس KCL استفاده میکنیم:

$$kcl \rightarrow i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$V_1 = V_2 = V_3$$

$$i_c = C \frac{dV}{dt} \rightarrow C_T \frac{dV}{dt} = c_1 \frac{dV}{dt} + c_2 \frac{dV}{dt} + c_3 \frac{dV}{dt}$$

$$C_T \frac{dV}{dt} = (c_1 + c_2 + c_3) \frac{dV}{dt}$$

$$C_T = c_1 + c_2 + c_3$$

**نکته:** بنابراین ظرفیت خازن در حالت موازی برابر است با:

$$\sum_{i=1}^n C_i = c_1 + c_2 + c_3$$

تحلیل سری شدن خازن ها:



در حالت سری خازن ها ولتاژ دو سر هر خازن با خازن دیگر فرق دارد. چون مدار بصورت حلقه است پس KVL استفاده میکنیم.

$$kvl = V = V_1 + V_2 + V_3$$

**نکته:** فرض میکنیم که ولتاژ اولیه صفر است.

$$V_c = \frac{1}{C} \int i_c . dt + V_0$$

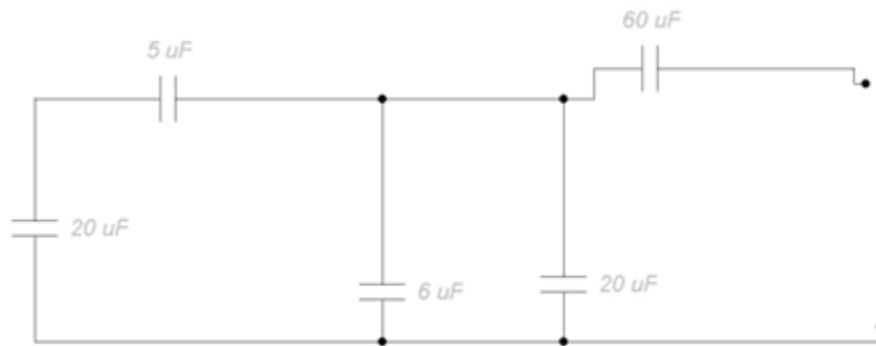
$$\frac{1}{C_T} \int i . dt = \frac{1}{C_1} \int i . dt + \frac{1}{C_2} \int i . dt + \frac{1}{C_3} \int i . dt$$

$$\frac{1}{C_T} \int i . dt = \left[ \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right] \int i . dt$$

**نکته:** از انتگرال فاکتور میگیریم:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

مثال: در مدار زیر خازن معادل را محاسبه کنید؟



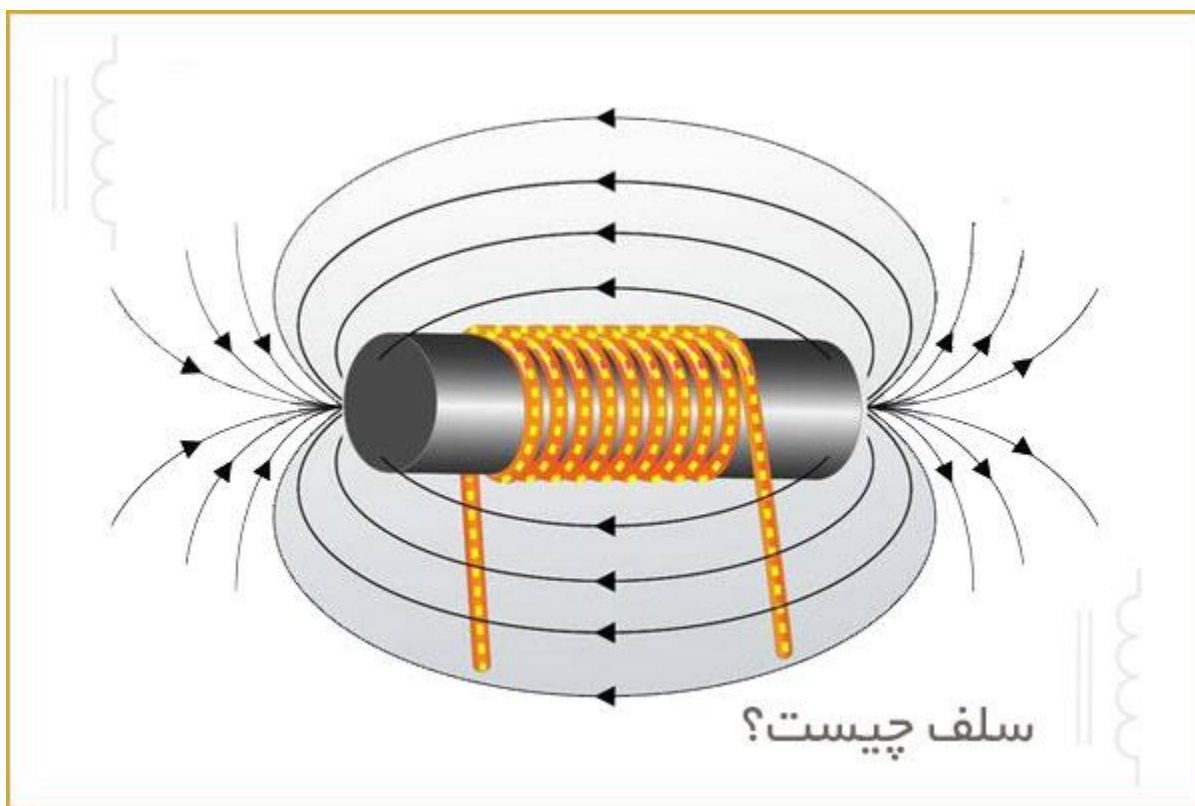
$$C_1 = \frac{5 \times 20}{5 + 20} = 4$$

$$C_2 = 4 + 6 + 20 = 30$$

$$C_3 = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20\ \mu F$$

سلف یا القاگر یکی از قطعات الکترونیکی پر کاربرد در حوزه مهندسی برق و الکترونیک است که ویژگی اصلی آن ذخیره انرژی به شکل میدان مغناطیسی در مدارات الکترونیکی است. اما وظایف اصلی القاگر چیست؟ و انواع سلف کدام است؟ سلف و خازن هر دو المان های ذخیره سازی انرژی هستند پس تفاوت آنها در چیست؟

سلف قطعه الکتریکی ساده و در عین حال ضروری در مدارهای الکترونیکی است. این قطعه الکترونیکی نقش مهمی در ذخیره سازی انرژی الکتریکی، مدیریت جریان و محافظت از مدار الکتریکی ایفا می کند. سلف انرژی را به شکل میدان مغناطیسی و زمانی که الکتریسیته از مدار عبور می کند در خود ذخیره می کند و به این دلیل به آن *Passive* گفته می شود.



سلف ها با تغییر فرکانس و جریان های الکتریکی خاصیتی به عنوان اندوکتانس دارند که متناسب با تغییر جریان الکتریکی بر حسب زمان تغییر می کند. واحد اندوکتانس هانری (H) است و به افتخار جوزف هانری (Joseph Henry) نامگذاری شده است و با نماد (L) نشان داده می شود. هانری واحد بزرگی است از این رو، از

واحدهای کوچکتر آن بنام میلی، میکرو و نانو برای بیان اندوکتانس سلف استفاده می شود. اندوکتانس سلف توسط و نمونه پیشرفته آن اندازه گیری می شود.

هسته سلف بسته به نوع کاربری، از ماده ای با نفوذپذیری مغناطیسی بالا (مانند آهن یا فریت) ساخته می شود. انتخاب ماده بسته به عواملی مانند فرکانس کاری، اندوکتانس مورد نیاز و بازده انرژی بستگی دارد. عملکرد هسته متمرکز کردن میدان مغناطیسی تولید شده توسط جریان عبوری از سلف است.

**هسته:** باید از جنس هادی مغناطیس باشد. هادی هایی که قبلاً مطالعه کردیم جریان الکتریکی عبور میدهند. اگر هسته هادی باشد این میدان مغناطیسی دور هسته ایجاد میشود که باعث فروان میدان مغناطیسی میشود که با حرف  $\Phi$  نشان میدهند که در مبانی ۲ مفصل خواهیم خواند.

$$\phi \rightarrow i$$

هر هسته دارای یک مقاومت که با  $R_m$  نشان میدهند هست. اسم این مقاومت رلوکتانس است. Reluctance

سلف را با یک پارامتر نشان میدهند به نام اندوکتانس یا ضریب خودالقایی و با حرف L نشان میدهم.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad H$$

$$\mu = \mu^0 \times \mu^r$$

$\mu$ : ضریب خود القایی

N: تعداد دور سیم پیچ

L: طول سیم پیچ

A: سطح مقطع

$\mu^0$ : ضریب خود القایی خلا =  $4\pi \times 10^{-7}$

$\mu^r$ : ضریب خودالقایی ماده

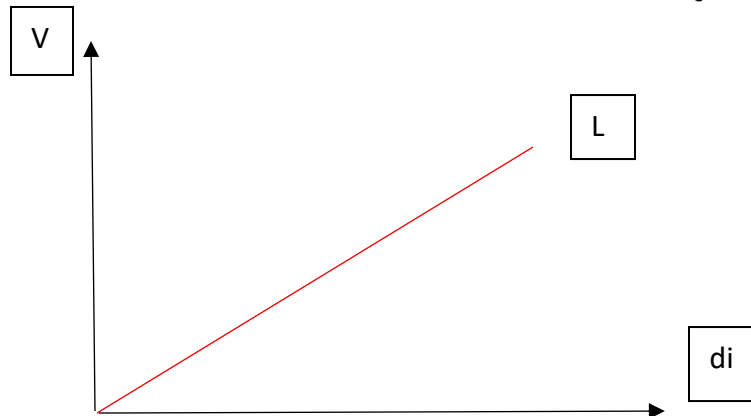
**نکته مهم:** هر چقدر این ضرایب ثابت بیشتر باشد ماده عایق تر است.

**نکته:** در خازن گفتیم که جریان از ولتاژ جلوتر است ولی در سلف ولتاژ جلوتر از جریان است.

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$i_L = \int V \cdot dt + i(0)$$

**نکته:** اگر جریان ما ثابت باشد، ولتاژ دوسر سلف صفر است.



**انرژی ذخیره شده در سلف:**

در خازن گفتیم که انرژی به صورت الکتریکی ذخیره میشود ولی در سلف انرژی بصورت میدان مغناطیسی ذخیره میشود. میدان به دلیل جریان است.

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2$$

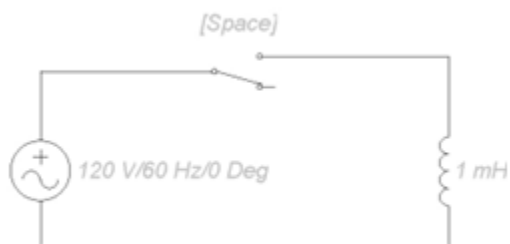
**مثال:** اگر جریان یک سلف 0.1 هانری باشد مقدار ولتاژ و انرژی ذخیره شده آن را حساب کنید؟

$$L = 0.1 \text{ H}$$

$$i = 10 \times te^{-5t} \rightarrow V_L = L \frac{di}{dt} = \frac{1}{10} \times \frac{d}{dt} (10 \times te^{-5t})$$

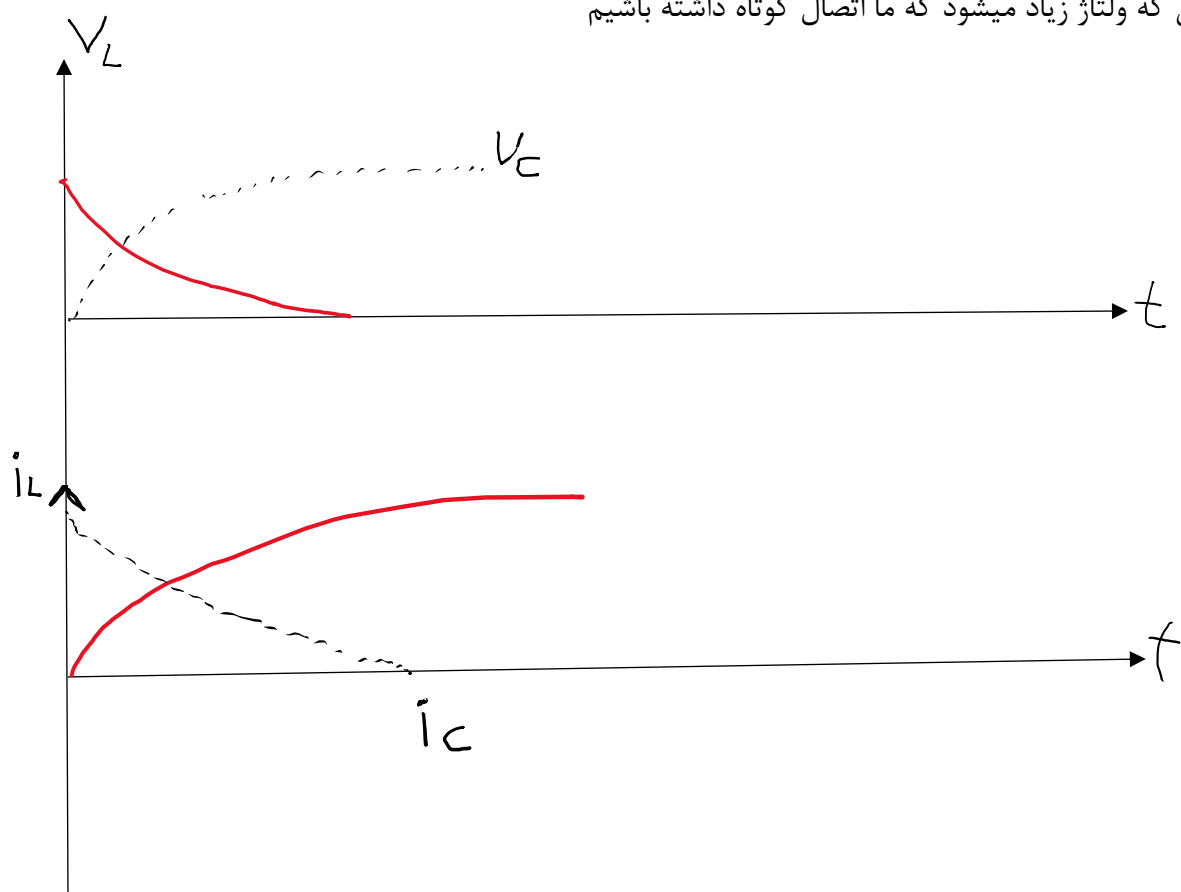
$$V_L = \frac{d(te^{-5t})}{dt} = e^{-5t} - 5t \times e^{-5t} = e^{-5t}(1 - 5t)$$

بررسی رفتار سلف:



زمانی که مدار باز داریم جریان صفر میشود

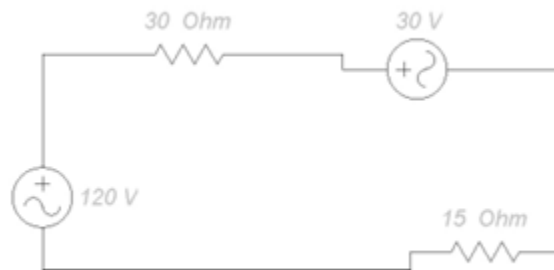
زمانی که ولتاژ زیاد میشود که ما اتصال کوتاه داشته باشیم



### قضیه تلکان:

اصل توازن توان ها در هر شبکه بصورت زیر قابل تفسیر است.

اگر مجموع توان ها در هر شبکه صفر باشد، توازن داریم.



$$I=2 \text{ A}$$

$$\sum_{k=1}^n V_k \times I_k$$

$$P_{120 \text{ V}} = -(120) \times (2) = -240 \text{ W} < 0$$

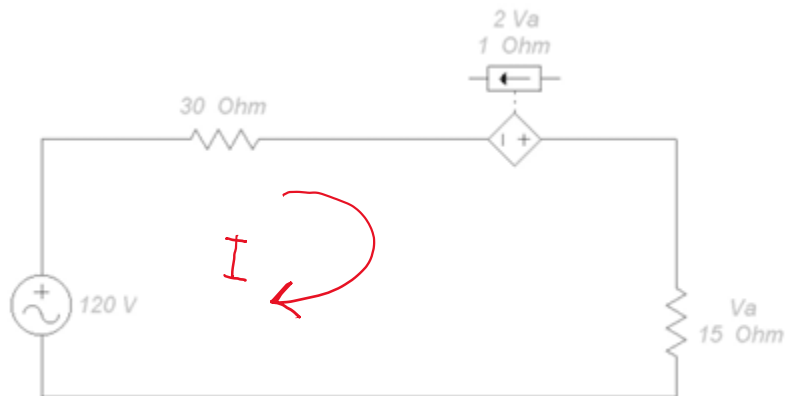
$$P_{30 \Omega} = (30) \times (2)(2) = 120 \text{ W} > 0$$

$$P_{30 \text{ V}} = (30) \times (2) = 60 \text{ W} > 0$$

$$P_{15 \Omega} = (15) \times (2)(2) = 60 \text{ W} > 0$$

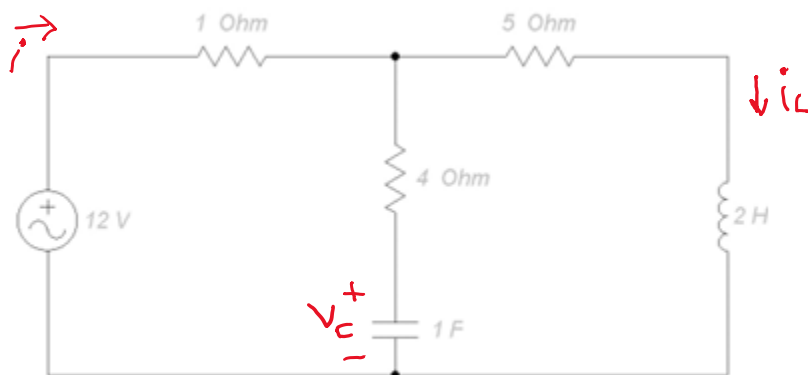
$$\sum P = -240 + 120 + 60 + 60 = 0 \text{ توازن}$$

مثال: در مدار زیر اصل توازن را بررسی کنید؟



## جلسه یازدهم

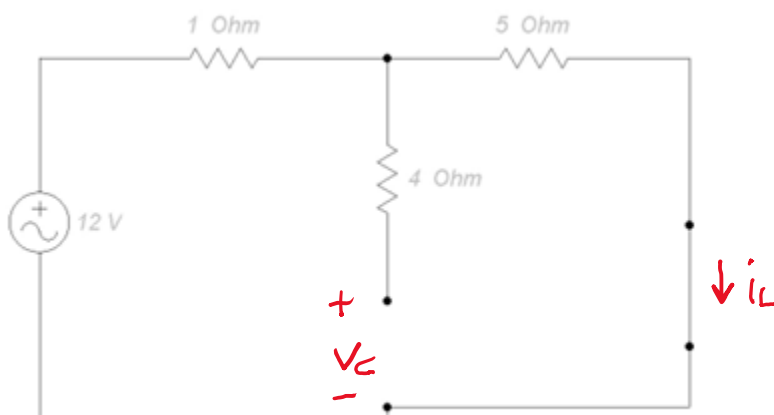
**مثال:** در مدار داده شده مقدار انرژی ذخیره شده در خازن و سلف را محاسبه کنید؟



در مرحله اول باید مدار را در حالت پایدار بررسی کنیم. ولتاژ خازن و جریان سلف را بدست بیاوریم.

**نکته:** خازن مدار باز میشود

**نکته:** سلف اتصال کوتاه میشود



**نکته:** مقاومت ۴ اهمی بدلیل مدار باز بودن بی اثر شده و حذف میشود.

**نکته:** ولتاژ خازن برابر است با ولتاژ دو سر خازن ۵ اهمی.

**نکته:** با توجه به مدار باز بودن خازن و جریانی  $i_L$  پی جریان در مسیر خازن صفر است و مقدار جریان سلف با جریان کل برابر است.

$$i = i_L = \frac{V}{R} = \frac{12}{1+5} = 2 \rightarrow i = i_L = 2 \text{ A}$$

$$V_c = R \cdot I \rightarrow V_c = 5 \times 2 = 10 \text{ V}$$

$$W_c = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (1) (10^2) = 50 \text{ J}$$

$$W_L = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} (2) (2^2) = 4 \text{ J}$$

تحلیل سری شدن سلف ها:



$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

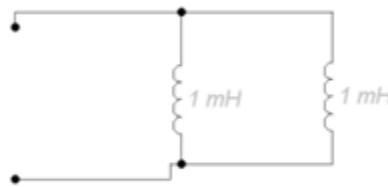
$$L_T \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + \dots + L_n \frac{di}{dt}$$

در همه یکسان است پس فاکتور میگیریم:

$$L_T \frac{di}{dt} = (L_1 + L_2 + \dots + L_n) \frac{di}{dt}$$

$$\rightarrow L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

تحلیل موازی شدن سلف ها:



$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int V_L \cdot dt$$

**نکته:** در حالت موازی تمام ولتاژ ها با هم برابر هستند. KCL استفاده میکنیم.

$$KCL: I = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

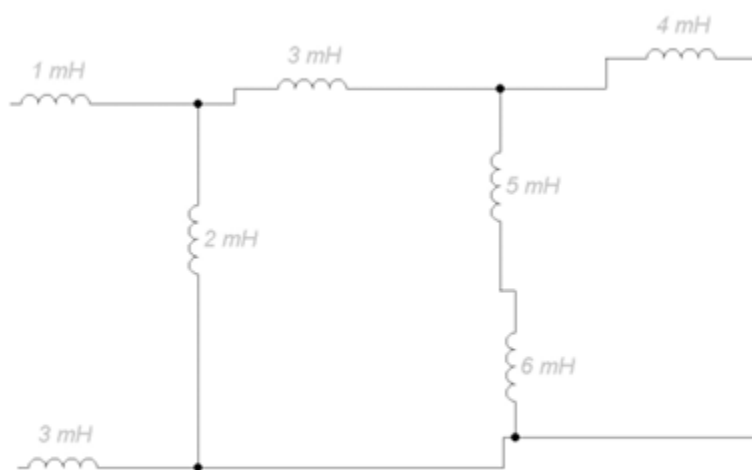
$$\frac{1}{L_T} \int V_L \cdot dt = \frac{1}{L_1} \int V_L \cdot dt + \frac{1}{L_2} \int V_L \cdot dt + \dots + \frac{1}{L_n} \int V_L \cdot dt$$

$$\rightarrow \frac{1}{L_T} = \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \right)$$

**نکته:** از انتگرال فاکتور میگیریم:

$$\frac{1}{L} = \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \right)$$

مثال: مقدار سلف معادل را در مدار زیر محاسبه کنید؟



خلاصه تمام روابط خوانده شده:

| Relatio  | Resistor<br>R                                 | Capacitor<br>C                                | Inductor<br>L                                 |
|----------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| V-I      | $V = RI$                                      | $V = \frac{1}{C} \int i \cdot dt + V(0)$      | $V = L \frac{di}{dt}$                         |
| I-V      | $I = \frac{V}{R}$                             | $I = C \frac{dv}{dt}$                         | $I = \frac{1}{L} \int V \cdot dt + I(0)$      |
| P        | $P = RI^2 = \frac{V^2}{R}$                    | $W = \frac{1}{2} CV^2$                        | $W = \frac{1}{2} LI^2$                        |
| Series   | $R = R_1 + R_2$                               | $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ | $L = L_1 + L_2$                               |
| Parallel | $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ | $C = C_1 + C_2$                               | $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$ |
| DC       | Same                                          | Open circuit                                  | Short circuit                                 |

## فصل چهارم

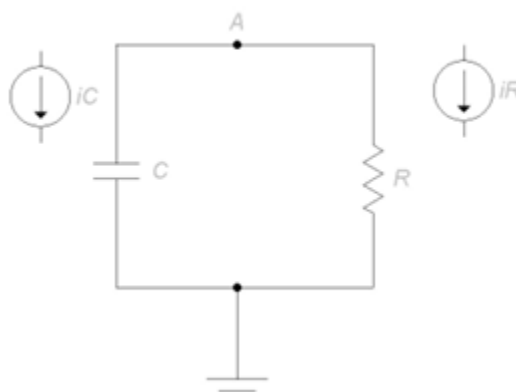
### جلسه دوازدهم

#### مدارهای الکتریکی مرتبه اول: RC-RL

تاکنون در باره المان ها و تحلیل مدار و قوانین KVL-KCL بحث کردیم. در تحلیل های فصول قبل، زمان را حساب نمی‌کردیم ولی در قوانین پیشرفته زمان را نیز در نظر می‌گیریم و اثر آن را بر رفتار خازن و سلف بررسی می‌کنیم.

#### مدار RC:

#### تحلیل مدار RC بدون منبع:



**نکته:** به کدام مدار ها، مدار مرتبه اول می‌گوییم؟ مداراتی که در آنها فقط یک عنصر دخیله کننده مانند خازن یا سلف داشته باشیم.

**نکته:** در بعضی از مدارات ممکن است تا ۵ عنصر خازن یا سلف داشته باشیم، چون آن ها ساده شده و در آخر یکی باقی می ماند، پس مرتبه اول حساب میشود.

**نکته:** تحلیل مدار بدون منبع یعنی این خازن یا سلف قبلا به یک منبع وصل بوده و شارژ کامل شده است و به اندازه  $V_0$  یا  $I_0$  ولتاژ یا جریان دارد. سپس از مدار جدا شده و وصل شده به مقاومت. می‌خواهیم ببینیم و تحلیل کنیم که این المان ها به چه صورت تخلیه میشوند.

نکته مهم: برای تحلیل این مدار ها در نقطه A یک KCL میزنیم.

$$KCL: i_C + i_R = 0 \rightarrow C \frac{dv}{dt} + \frac{V}{R} = 0$$

نکته: چون هر دو المان موازی هستند پس ولتاژ برابر دارند.

رابطه ۱ یک معادله دیفرانسیل مرتبه اول است. پس می نویسیم:

$$V' = \frac{V}{RC} = 0$$

معادله را بر C تقسیم میکنیم:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{RC}V = 0$$

$$\frac{dv}{dt} = V'$$

این یک معادله دیفرانسیل خطی مرتبه اول یا همگن است.

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{V}{RC} \rightarrow \frac{dv}{v} = -\frac{dt}{RC}$$

حل معادله:

۱: از دو طرف معادله انتگرال میگیریم تا مشتق از بین برود.

$$\int \frac{dv}{v} = -\int \frac{dt}{RC} \rightarrow \ln V = -\frac{t}{RC} + \ln A$$

نکته مهم:  $\ln A$  یک عدد ثابت است که برای راحتی در ادامه شبیه  $\ln$  در طرف دیگر معادله قرار میدهیم.

۲:  $\ln A$  را به این طرف معادله میاوریم.

$$\ln \frac{V}{A} = -\frac{t}{RC}$$

۳: برای از بین بردن  $\ln$  یک e می نویسیم.

$$e^{\ln \frac{V}{A}} = e^{\frac{-t}{RC}} \rightarrow \frac{V}{A} = e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$V = A e^{\frac{-t}{RC}}$$

**نکته:** A یک عدد ثابت است که با توجه به شرایط اولیه مدار آن را بررسی میکنیم.

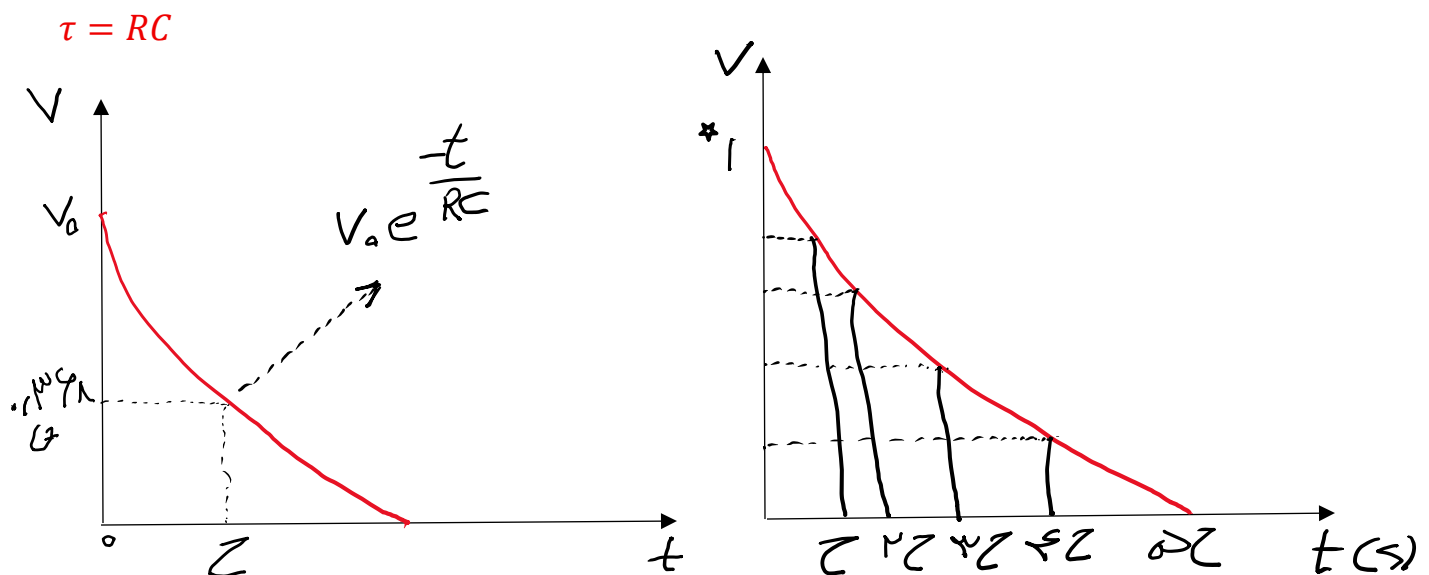
**نکته:** V در لحظه اول  $t=0$  که میخواهد خازن تخلیه شود ولتاژ  $V = V_0$

$$t = 0 \rightarrow V = V_0 \rightarrow V_0 = A$$

معادله تحلیل مدار RC:

$$V = V_0 \cdot e^{\frac{-t}{RC}}$$

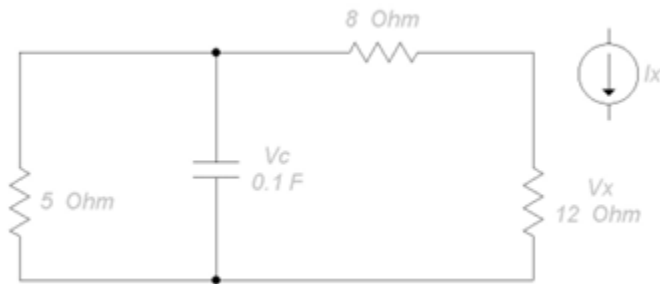
ثابت زمانی:



**نکته:** یک ثابت زمانی (تاو) مدت زمانی است که ولتاژ ما به مقدار 0.368 ولت برسد.

**نکته:** 5 ثابت زمانی طول میکشد که یک خازن شارژ یا دشارژ شود.

**مثال:** در مدار زیر مقدار اولیه خازن ۱۵ ولت باشد، مدار را تحلیل کنید.

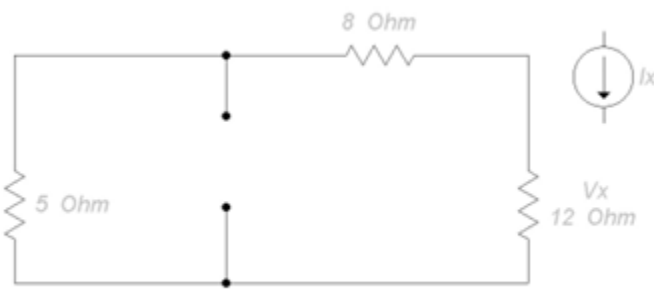


میخواهیم مقدار  $V_X$  و  $I_X$  را بدست بیاوریم.

**نکته:** خازن را به عنوان منبع ولتاژ در نظر میگیریم.  $V_C$  کم کم کاهش پیدا میکند.

$$V_{C_t} = V_0 \cdot e^{\frac{-t}{RC}}$$

مقدار  $R$  مقدار مقاومتی است که از سر دو خازن دیده میشود.



$$R = 8 + 12 = 20 \rightarrow R = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4 \Omega$$

$$\tau = RC = 4 \times 0.1 = 0.4 s$$

معادله ولتاژ:

$$V_c = 15e^{-2.5t}$$

قانون تقسیم ولتاژ:

$$V_x = 15e^{-2.5t} \left( \frac{12}{20} \right) = 9e^{-2.5t}$$

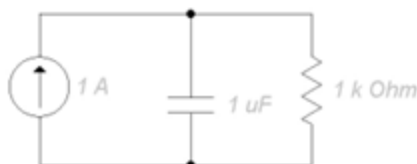
مقدار جریان:

$$i_x = \frac{V_x}{12} = \frac{9e^{-2.5t}}{12} = 0.75e^{-2.5t} \text{ A}$$

تحلیل مدار RC:  $V_C(0) = 0$

این حالت زمانی است که خازن میخواهد شارژ شود

**نکته:** ولتاژ اولیه خازن صفر است.



$$KCL: I = i_C + i_R$$

$$i = C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R}$$

این یک معادله دیفرانسیل غیر همگن است. یکبار  $i=0$  قرار داده و همگن حساب میکنیم.

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R} = 0 \rightarrow V = K \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

**نکته مهم:** بهترین حالت  $K$  این است که برابر باشد با  $RI$ . چون زمانی که خازن مدت زمان زیادی از شارژ بگذره مدار باز حساب میشه.

پس: (قبلا محاسبه شده)

$$K = RI$$

$$V = RI \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

جواب خصوصی:

$$K = RI$$

$$V = K \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + RI$$

در زمان صفر ولتاژ خازن صفر است پس  $t=0$  قرار میدهیم:

$$t=0$$

$$0 = K + RI \rightarrow K = -RI$$

$$V_C(t) = -RIe^{-\frac{t}{RC}} + RI$$

ولتاژ خازن در زمانی که مقدار اولیه ندارد:

$$V_C(t) = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

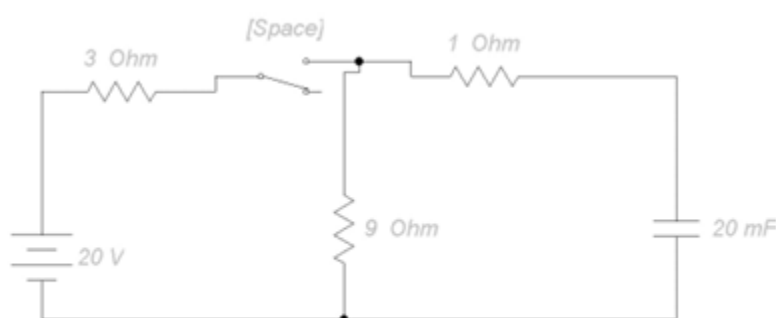
جلسه سیزدهم:

معادله کامل: هم ورودی داریم و هم مقدار اولیه

$$V_C = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) RI$$

نکته:  $V_0$  زمانی که ولتاژ اولیه هست.  $RI$  زمانی که ولتاژ داریم.

مثال: در مدار زیر کلید در زمان صفر باز میشود. مدار را تحلیل کنید؟



تحلیل در دو حالت است:

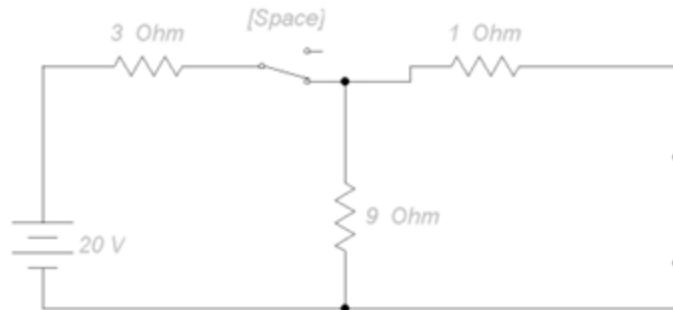
کلید باز  $t > 0$

کلید بسته  $t < 0$

حالت اول کلید بسته:

$t < 0 \rightarrow$

نکته مهم: وقتی خازن در حالت پر شدن بوده یعنی مدار باز میشود. وقتی خازن مدار باز میشود پس مقاومت ۱ هم از مدار خارج میشود.



$$R = 3 + 9 = 12$$

$$V_C(t < 0) = \frac{20 \times 9}{12} = 15 \text{ V}$$

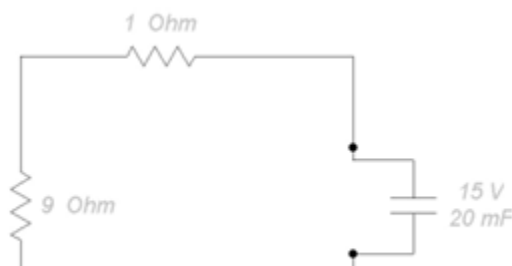
$$V_C(0^-) = 15 \text{ V}$$

**نکته:** حالا کلید باز شده، ولتاژ حالت دشارژ دارد. ولتاژ اولیه ۱۵ ولت است. خازن خیلی سریع شروع به دشارژ نمیشود و مقاومت میکند و قانون پایستگی ولتاژ در خازن نام دارد.

$$V_C(0^+) = 15 \text{ V}$$

**حالت دوم کلید باز:**

$$t > 0$$



$$V_C(t) = V_0 \cdot e^{\frac{-t}{RC}}$$

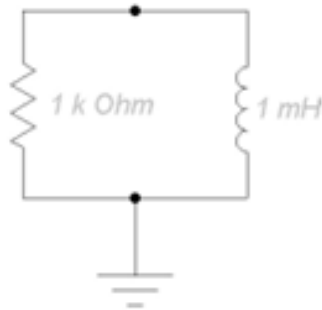
ثابت زمانی را محاسبه میکنیم.

$$R = 1 + 9 = 10$$

$$\tau = RC = 10 \times 20 \times 10^{-3} = 0.2 \text{ s}$$

$$V_C(t) = 15e^{-\frac{t}{0.2}} = 15e^{-5t}$$

تحلیل مدار  $RL$  بدون منبع:



نکته: خود سلف یک جریان اولیه دارد:

$$I_L(0) = I_0$$

$$KCL = i_L + i_R = 0$$

ولتاژ مقاومت و سلف برابر است پس:

$$V_L = V_R = V \rightarrow V_L = L \frac{di}{dt}, I_R = \frac{V}{R}$$

$$\frac{L}{R} \cdot \frac{di_L}{dt} \rightarrow i_L + \frac{L}{R} \cdot \frac{di_L}{dt} = 0$$

معادله دیفرانسیل همگن:

$$\frac{L}{R} \cdot i_L + i_L = 0 \rightarrow i_L(t) = k \cdot e^{-\frac{Rt}{L}} = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$t = 0 \rightarrow i_L(0) = i_0$$

$$I_L(t) = i_0 \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

2012

# جزوه مبانی الکترونیک

گرایش کامپیوتر

دانشگاه شهید قاضی طباطبائی

استاد محترم  
مهندس امیرسیاه چشم

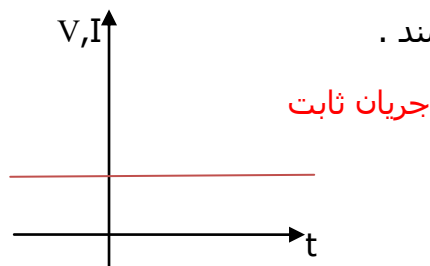
تنظیم : علیرضا خلافتی



## Direct Current

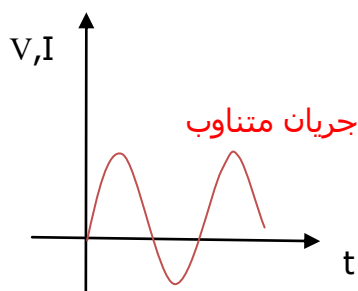
## سیگنال DC

سیگنالی که با گذشت زمان مقدارش تغییر نکند را سیگنال DC می نامند .



## AC Alternative سیگنال

سیگنالی که با گذشت زمان مقدارش تغییر می کند سیگنال AC می نامند .



تعریف بار الکتریکی : اتم از سه ذره بنیادی بنام های الکترون با بار منفی ، پروتون با بار مثبت و نوترون بی بار ( خنثی ) تشکیل شده است .

« اگر بار الکتریکی نبود مفاهیم جاذبه و دافعه الکتریکی معنا نداشت »

جریان الکتریکی : موضوع انتقال بار یا بار متحرك در مطالعه مدارهای الکتریکی اهمیت زیادی دارد زیرا در انتقال بار انرژی از يك نقطه به نقطه دیگر منتقل میشود .

« جریان در واقع آهنگ تغییر بار از يك نقطه خاص و در يك جهت خاص می باشد »

تقریبی

$$I = - \frac{\Delta q}{\Delta t} , I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow$$

$$dq = Idt \Rightarrow \int_{q(0)}^{q(t)} dq = \int_0^t I dt \Rightarrow q(t) - q(0) = \int_0^t I dt \Rightarrow q(t) = \int_0^t I dt + q(0)$$

فرمول اصلی  $q(t) = \int_0^t I dt + q(0)$   $t_0 = 0$  فرض

مثال ( جریان  $I(t)$  بصورت مقابل تعریف شده است :

$$I(t) = \begin{cases} 3t & t > 1 \\ 6 & -1 \leq t \leq 1 \\ -2t & t \leq -1 \end{cases}$$

$t > 1$

$$I = 3t \Rightarrow 3 \times 2 = 6A \quad I(2s) \quad (\text{الف})$$

$$I = -2t \Rightarrow -2 \times -2 = 4A \quad I(-2s) \quad (\text{ب})$$

$$q(t) = \int_0^t dt \Rightarrow \frac{4}{-3} = ?$$

ج ( کل بار در فاصله -3 تا 4 ثانیه را بدست آورید ؟

$$\Rightarrow -2 \, dt = -2 \quad dt = -2 \frac{1}{1+1} \quad \frac{-1}{-3} = -2 * \frac{2}{2} = -2 \Big|_{-3}^{-1} \Rightarrow -1(-1-(-3)) = -2$$

$$\int_{-1}^1 6 \, dt = 6 \quad dt = 6 \Big|_{-1}^1 = 6(1-(-1)) = 12$$

$$\int_1^4 3 \, dt = 3 \quad dt = 3 \frac{1}{1+1} \quad \frac{4}{1} = 3 \frac{2}{2} \frac{4}{1} = 3(4-1) = 9$$

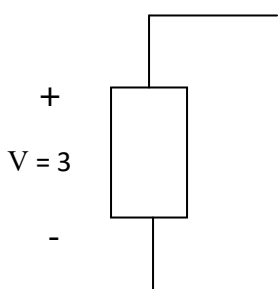
$$-2 + 12 + 9 = 19$$

### ولتاژ الکتریکی

فرض کنید جریان مستقیمی به پایه A صفحه مداری به شکل زیر وارد شده از عنصر عبور کرده و از پایه B آن خارج شده با فرض اینکه برای عبور جریان از این عنصر باید مقداری انرژی مصرف شود آنگاه می گوییم بین دو پایه A و B اختلاف پتانسیل الکتریکی تشکیل شده است .

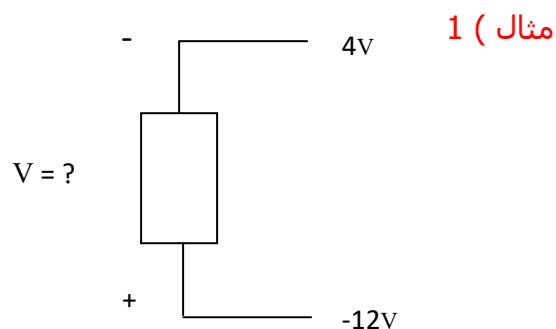
$$= \frac{(\quad)}{(C)}$$

$$\text{ولت} = \frac{\text{مقدار انرژی مصرف شده بر حسب ژول}}{\text{مقدار بار بر حسب}}$$

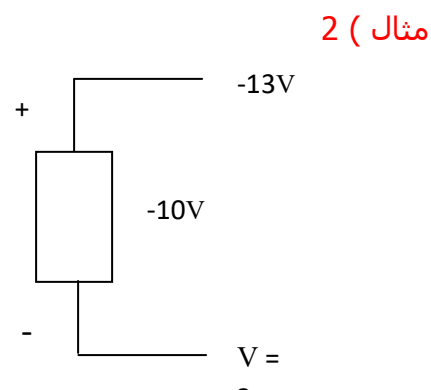


$$V_A - V_B = 3V$$

$$V = -12 - (4) = -16V$$



$$-13 = V - (-10) \Rightarrow V = -13 + 10 = -3V$$



### توان الکتریکی

توان را آهنگ مصرف انرژی می نامیم ( توان لازم برای انتقال يك كولن بار در يك ثانيه برابر يك وات است )

$$1) P = - \quad 2) W = Vq \quad 3) P = VI$$

مثال ( ولتاژ  $V1t$  بصورت فرمول زیر تعريف شده است .

$$V_1(t) = 2 + \sin(400t)$$

يادآوری :

الف )  $V_1 = 1ms$

$$V_1 = 2 + \sin(400 * 1 * 10^{-3}) = 2 + \sin(0.4)$$

$$\frac{0.4}{2} = \frac{360}{2} \Rightarrow D = \frac{360 * 0.4}{2}$$

$$\frac{R}{400} = \frac{D}{2\pi} = \frac{D}{360} \Rightarrow \text{RAD}$$

$$N = 10^{-9}$$

$$= 10^{-6}$$

ب )  $V_2 = 10ms$

$$Ms = 10^{-3}$$

$$V_2 = 2 + \sin(400 * 10 * 10^{-3}) = 2 + \sin(4)$$

$$\frac{4}{2} = \frac{360}{2} \Rightarrow D = \frac{360 * 4}{2} = \frac{1440}{6/28} = 229/2$$

انرژی لازم برای اینکه  $t=4\text{ms}$  ، 3 کولن بار از بالا به پایین منتقل شود  $W = Vq$   $W = ?$  (ج)

$$W = (2 + \sin(400t))(3)$$

$$W = 2 + \sin(400 * 4 * 10^{-3})(3) = \dots$$

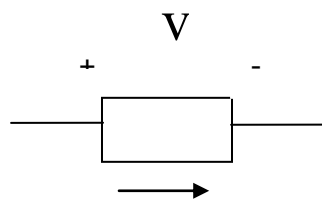
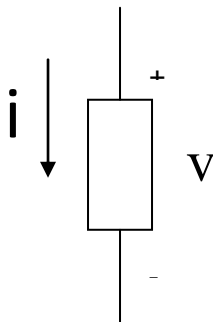
**یادآوری :** در قسمت تعیین بار فقط با انتیگرال بسته که از این فرمول محاسبه میشود کار می کنیم .

$$dx = \frac{1}{+1} +1 + c, \quad dx = \frac{+1}{+1} + c$$

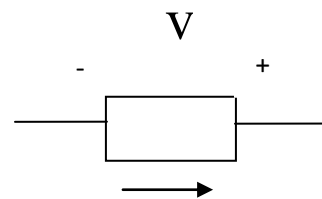
$$dx = \quad dx = \quad +$$

$$dx = \frac{2}{2} + \quad \text{مثال} \quad dx = \frac{2^2}{2} \Big|_1^2 = \frac{2^2}{2} - \frac{1^2}{2}$$

قانون رعایت علامت وابسته : به این صورت است که سمت وارد شونده جریان را همیشه مثبت می گیریم .

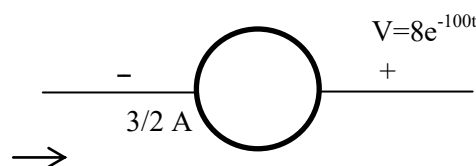


$p > 0$  توان مصرفی جذبی



$p < 0$  توان مصرفی تولیدی

**مثال (** در عناصر شکل زیر مقدار و علامت توان مصرفی را محاسبه کنید؟



$$V = 8e^{-100t} \quad \text{(الف)}$$

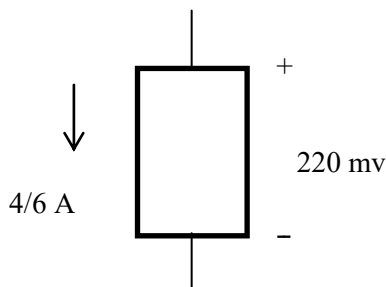
$$P(t = 5\text{ms}) = ?$$

$$I = 3/2 \text{ A}$$

$$P = VI = (8e^{-100t})(3/2)$$

$$P(t = 5\text{ms}) = ? = (8e^{-100 \times 5 \times 10^{-3}})(3/2) = \text{watt} = -$$

توان از نوع تولیدی



(ب)

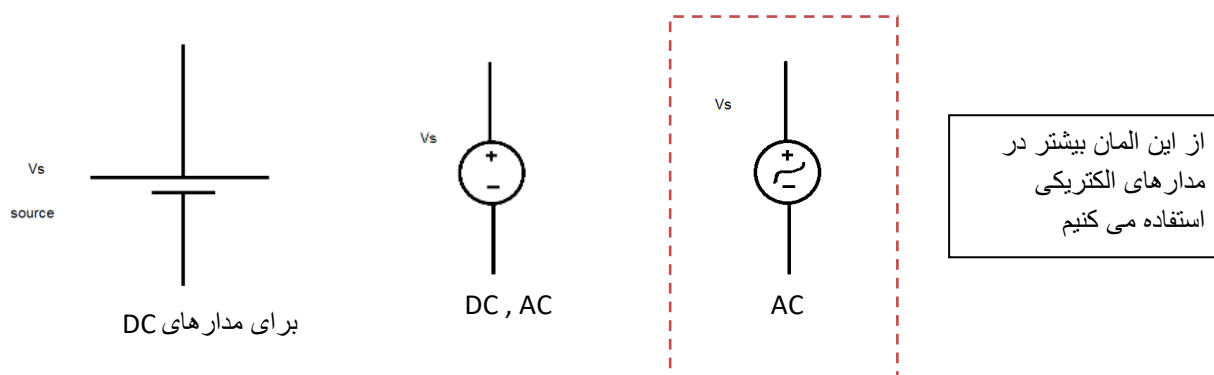
$$P = VI$$

$$P = 220 \times 4/6 \times 10^{-3} = 1/012 + w$$

**عنصر یا المان مداری :** یک عنصر مداری ، مدل ریاضی یک وسیله الکتریکی است که بتوان مشخصاتش را به طور کامل توسط رابطه ولتاژ و جریان بیان کرد. ثانیاً المان مداری در مقابل عبور جریان برق از خود واکنش نشان می دهد .

### منبع مستقل ولتاژ :

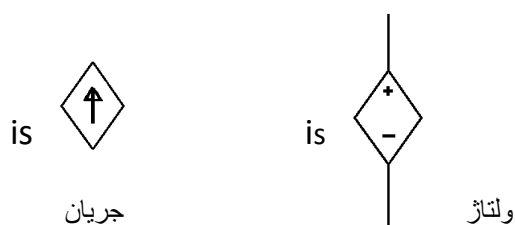
این قطعه المانی است که جزء عناصر اکتیو محسوب می شود و ولتاژ دو سر آن مستقل از جریان عبوری از پایین هستند مثلاً زمانی که می گوئیم  $V=3t$  یعنی در لحظه  $t=20s$  مطمئن هستیم که ولتاژ منبع آن 60v خواهد شد.



**منبع جریان مستقل :** المانی است که جریان تولیدی آن مستقل از ولتاژ دو سر آن است .



**منابع وابسته ولتاژ جریان :** این عناصر دارای ولتاژ یا جریان مستقلى نبوده و با مولفه دیگری کنترل می شود .



## عناصر اکتیو و پسیو (فعال و غیرفعال)

**عناصر فعال :** عناصری هستند که توان مصرفی آنها در مدار منفی می باشد . یعنی عناصری که تولید انرژی می کنند . ( منابع ولتاژ و جریان )

**عناصر غیر فعال :** عناصری هستند که همیشه در مدار نقش مصرف کننده را بازی می کند مانند مقاومت یا لامپ .

**شبکه الکتریکی :** اتصال دو یا چند المان الکتریکی را اصطلاحاً شبکه الکتریکی می نامیم .

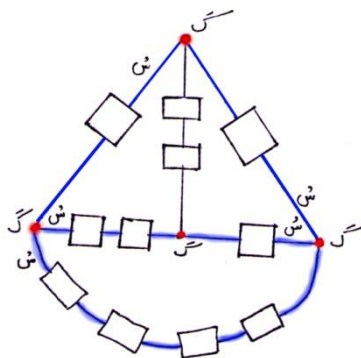
**مدار الکتریکی :** هر شبکه الکتریکی که حداقل ، دارای یک مسیر بسته می باشد مدار الکتریکی نامیده میشود .

« همه ی مدار ها شبکه اند »

**شاخه :** هر راه عبور جریان در مدار را یک شاخه گویند و یا به عبارتی شاخه از دو گره و یا چند المان تشکیل شده است .

**گره :** محل برخورد 3 یا بیشتر شاخه را گره می نامیم .

**مثال ( در مدار شکل زیر المان ها ، گره ها و شاخه ها را مشخص کنید ؟**



**المان : 12**

**گره : 4**

**شاخه : 6**

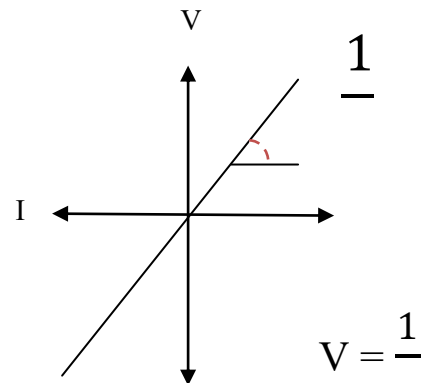
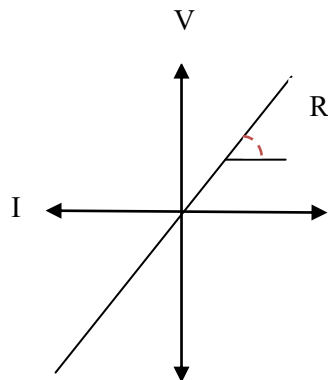
**مقاومت الکتریکی :** المانی غیر فعال است که ولتاژ دو سر آن با جریان عبوری از آن رابطه مستقیم دارد .

« واحد مقاومت اهم می باشد »

$$R = \frac{V}{I} \rightarrow V = RI$$

ولتاژ  $V$  ، مقاومت و  $I$  جریان

$$\Omega = -$$



$R = e \frac{\text{ماده طول}}{\text{سطح}}$  مقاومت ویژه ساده

**مثال )** اگر ولتاژ دو سر مقاومت 10 اهمی برابر  $V = 2 \sin(100 T)$  باشد مطلوب است مقدار جریان عبوری از مقاومت و توان مصرفی مقاومت محاسبه کنید ؟

راه حل اول :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2 \sin(100 T)}{10} = 0.2 \sin(100 T)$$

$$P = V \times I$$

$$P = 2 \sin(100 T) \times 0.2 \sin(100 T) = 0.4 \sin^2(100 T)$$

راه حل دوم :

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(2 \sin(100 T))^2}{10} = 0.4 \sin^2(100 T)$$

**هدایت الکتریکی (معکوس مقاومت) :**  $G = \frac{1}{R}$  ،  $G = \frac{1}{R}$  آمپرولتاژ زیفس

$$V = \frac{I}{G}, \quad I = GV$$

**تعریف مسیرالکتریکی :** اگر از عنصری شروع به حرکت کنیم و سپس به عنصر دیگری برسیم و اختلاف ولتاژ دو سر آن را یادداشت کرده و به عنصر دیگر برویم به کل مسیر طی شده مسیرالکتریکی گفته

می شود.

**تعریف حلقه :** اگر ابتدا و انتهای مسیر الکتریکی يك نقطه باشد به مسیر مربوطه حلقه گفته میشود .

**قانون جریان کیرشف :** در يك گره مجموعه جریان های واردشونده همیشه برابر مجموعه جریان های

خارج شونده از آن گره

وارد شونده

خارج شونده

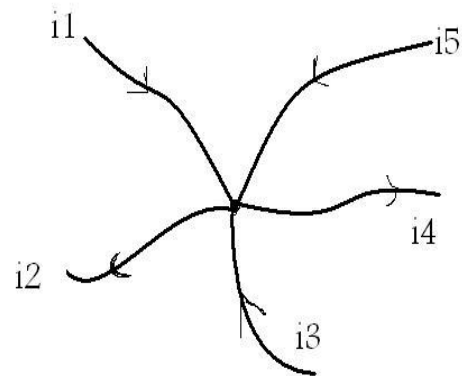
=

می باشد.

**روش اول : KCL)  $i_1 + i_3 + i_5 = i_2 + i_4$**

توجه

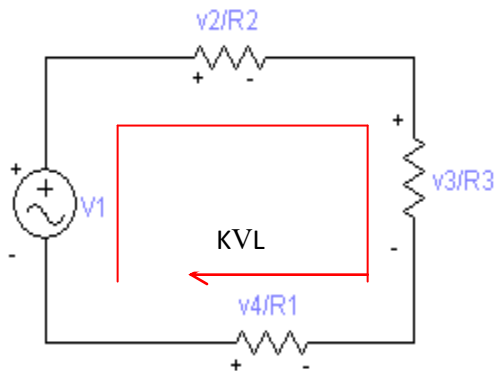
خارج شونده = مثبت (+) ، وارد شونده = منفی (-)



**روش دوم : KCL)  $-i_1 + i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$**

**قانون ولتاژ کیرشف (KVL)**

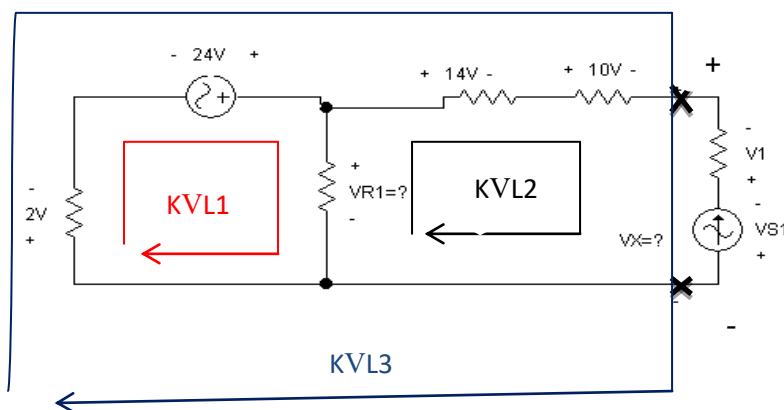
در يك مسیر بسته یا حلقه مجموعه ولتاژها صفر خواهد بود



$$\text{KVL) } -V_1 + V_2 + V_3 - V_4 = 0$$

**( مثال )**

در مدار زیر  $V_X$  و  $V_{R1}$  را بدست آورید؟



$$\text{KVL1) } +2 - 24 + V_{R1} = 0$$

$$V_{R1} = 22V$$

$$\text{KVL2) } -V_{R1} + 14 + 10 + V_X = 0$$

$$V_X = -2V$$

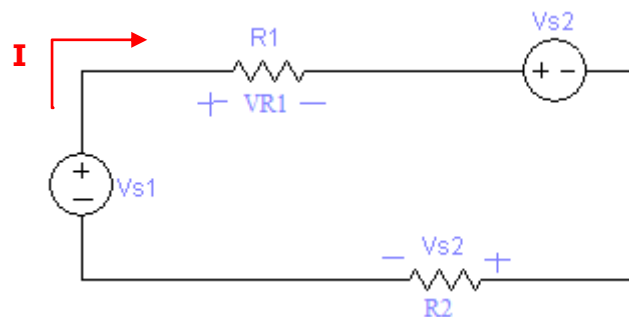
یا

$$\text{KVL3) } +2 - 24 + 14 + 10 - V_X = 0$$

$$V_X = -2V$$

## تعریف مدار تک حلقه ای

مداری که عناصر آن فقط تشکیل یک حلقه ی بسته را میدهد به مدار تک حلقه معروف است به عبارت دیگر در یک مدار تک حلقه ای تمامی عناصر با هم سری هستند.



$I = ?$

$$V = RI$$

$$\text{KVL) } -V_{s1} + V_{R1} + V_{s2} + V_{R2} = 0 \Rightarrow V_{R1} + V_{R2} = V_{s1} - V_{s2} \Rightarrow R_1 I_1 + R_2 I = V_{s1} - V_{s2}$$

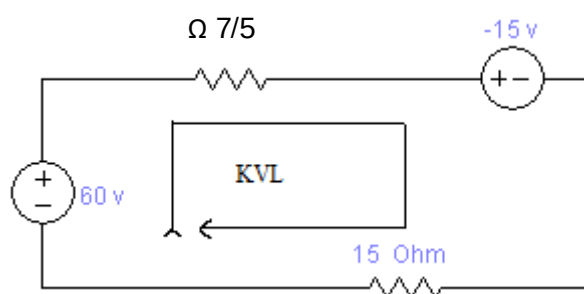
$$I_1 = I_2 = I$$

$$(R_1 + R_2) I = V_{s1} - V_{s2} \Rightarrow I = \frac{-}{+} \quad \begin{array}{c} \text{تفاضل منابع} \\ \text{مجموع مقاومت} \end{array} \quad \boxed{\frac{-}{+}}$$

**نکته :** در انتخاب جهت KVL راحتتر آن است که جهت جریان در مدار یکسان انتخاب کنیم

<< توان مصرفی مقاومت همیشه مثبت است >>

**مثال (** در مدار زیر توان جذب شده تک تک عناصر را بدست آورید .



روش اول با فرمول

$$I = \frac{60 - 15}{7.5 + 15} = \frac{45}{22.5} = 2^A$$

## KVL روش دوم

$$Kvl) - 60 + 7.5 I + 15 + 15 I = 0 \Rightarrow I = 2^A$$

$$(v=60) \quad P = VI \Rightarrow -60 * 2 = -120 W$$

- توان از نوع تولیدی است

$$(v=15) \quad P = VI \Rightarrow 15 * 2 = 30 W$$

+ توان از نوع مصرفی ( جذبی ) است

$$(R=7.5 \Omega) \quad P = RI^2 \Rightarrow 7.5 * (2)^2 = 30 W$$

توان مصرفی مقاومت همیشه مثبت است

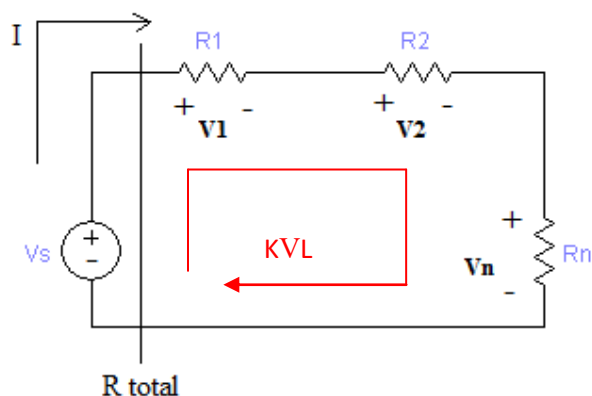
$$(R=15\Omega) \quad P = RI^2 \Rightarrow 15 * (2)^2 = 60 W$$

## ترکیب مقاومت ها

(1) مقاومتهای سری

(2) مقاومتهای موازی

## (1) مقاومتهای سری



$\Rightarrow I_1 = I_2 = I$  مدار تک حلقه است

$$KVL) - V_s + V_1 + V_2 + \dots + V_n = 0$$

$$V_s = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$V = RI$$

$$V_s = R_1 I_1 + R_2 I_2 + \dots + R_n I_n$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$\Rightarrow V_S = R_1 I + R_2 I + \dots + R_n I$$

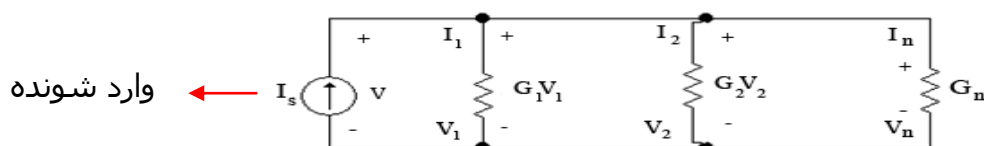
$$V_S = \frac{+ \quad + \dots +}{\quad}$$

از I فاکتور می گیریم

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

مقاومت‌های موازی

در مقاومت‌های موازی مقاومت کل از همه مقاومت ها کوچک تر می شود .



KCL بزیم بهتر است چون چند شاخه ای است .

$$\text{KCL) } I_S = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$I_S = G_1 V_1 + G_2 V_2 + \dots + G_n V_n$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

$$I_S = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) V$$

از V فاکتور می گیریم

$$G_{eq} \checkmark = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) \checkmark$$

$$\Rightarrow G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots +$$

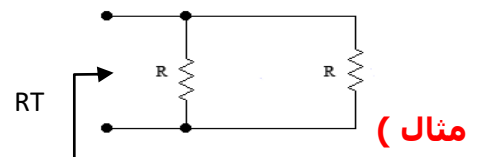
بستن موازی مقاومت ها

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad \text{مقاومت معادل}$$

زمانی که دو مقاومت موازی یکسان باشند

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = (\text{مخرج مشترك}) \frac{1+2}{1 \times 2}$$

$$= \frac{1 \times 2}{1+2} \quad \text{فرمول اصلی}$$

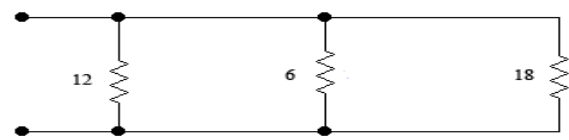


$$= \frac{\times}{+} = \frac{2}{2} \Rightarrow = \frac{1}{2}$$

اگر هر دو مقاومت موازی یکسان باشد مقاومت کل نصف آنها میشود

$$1,2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

REQ



روش اول

$$1,2 = \frac{12 \times 6}{12+6} = \frac{12 \times 6}{18} = 4$$

$$= \frac{4 \times 18}{4+18} = \frac{36}{11}$$

روش دوم

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18} = \frac{3+6+2}{36} = \frac{11}{36}$$

$$= \frac{1}{\frac{11}{36}} = \frac{36}{11}$$

کسر را معکوس می کنیم تا REQ بدست آید

ترکیب منابع به دو صورت امکان پذیر است

(1) منابع ولتاژ

(2) منابع جریان

**منابع ولتاژ:** اگر منابع ولتاژ را به صورت سری ببندیم ولتاژ کل برابر مجموع تک تک ولتاژ ها خواهد بود .  
(هدف افزایش ولتاژ است)

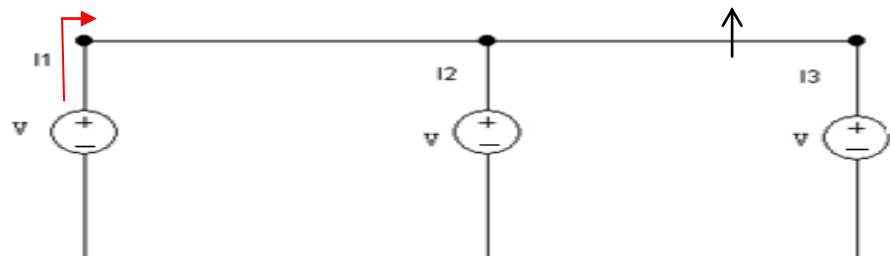
$$V_s = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$V_s = \sum_{i=1}^n V_i$$

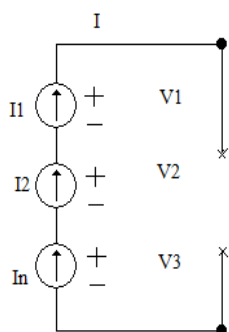
اگر منابع ولتاژ را به صورت موازی ببندیم هدف **افزایش جریان** خواهد بود فقط این محدودیت را خواهیم داشت که مقدار ولتاژ منابع یکسان باشد .

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$



**منابع جریان:** اگر منابع جریان را با هم سری ببندیم هدف **افزایش ولتاژ** می باشد فقط این محدودیت را داریم که مقادیر جریان ها یکسان انتخاب شوند (هدف افزایش ولتاژ)



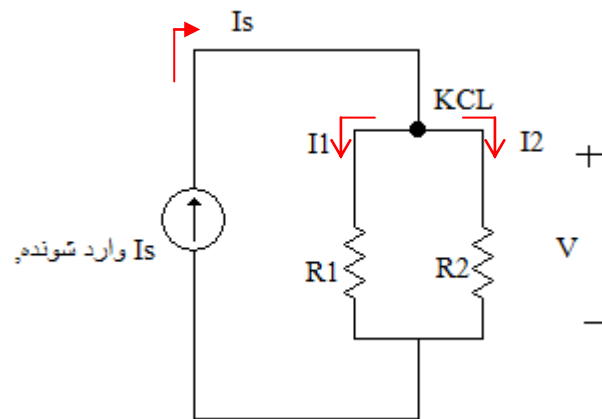
$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$\text{KVL) } -V_n - V_2 - V_1 + V = 0 \Rightarrow V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

اگر منابع جریان را به صورت موازی ببندیم هدف **افزایش جریان** کل خواهد بود.

**تذکر:** همیشه در مدارات منابع ولتاژ را به صورت سری می بندند و منابع جریان را به صورت موازی .

**قانون تقسیم جریان** زمانی که دو مقاومت با هم برابر باشند جریان عبوری از مقاومت اول برابر خواهد بود با مقاومت دوم تقسیم به جمع مقاومت اول و دوم ضربدر جریان کلی که وارد هر دو مقاومت می شود.



$$KCL) = I_s = I_1 + I_2$$

$$I_s = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

اثبات رابطه

$$I_s = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V \Rightarrow I_s = \left( \frac{R_2 + R_1}{R_1 \times R_2} \right) V$$

مخرج مشترك میگیریم

$$\Rightarrow V = \frac{R_1 \times R_2}{R_2 + R_1} \times I_s$$

معکوس پرانتز

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = ? \quad \text{و} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} = ?$$

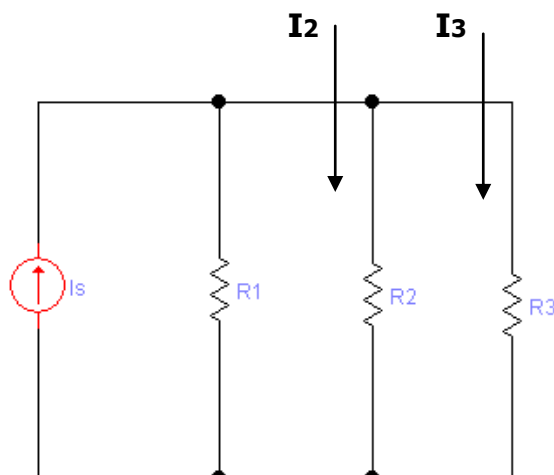
$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{\frac{R_1 \times R_2}{R_2 + R_1} \times I_s}{R_1} \quad \text{را جای گذاری می کنیم}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{R_1 \times R_2}{R_2 + R_1} \times I_s}{\frac{R_1}{1}} \Rightarrow I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_s \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_s$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_s \quad \text{و} \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_s$$

فرمول اصلی

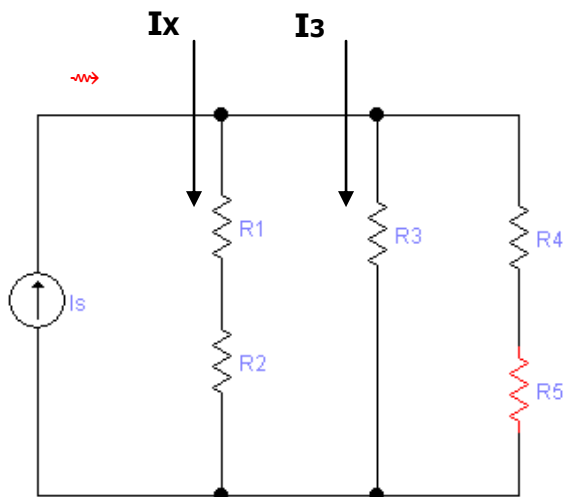
$$R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$$



$$I_2 = \left( \frac{1}{1} \frac{3}{3 + 2} \right) \times I_s$$

$$I_3 = \left( \frac{1}{1} \frac{2}{2 + 3} \right) \times I_s$$

« مهم »



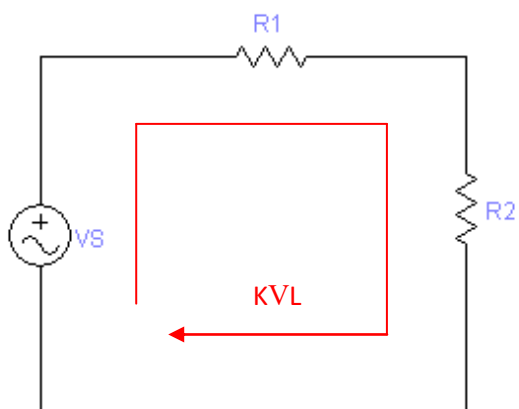
$$I_x = \frac{+}{\text{صورت} + ( \quad + \quad )} \times$$

$$I_3 = \frac{+ \quad ( \quad + \quad )}{\text{صورت} +} \times$$

نکته : اگر در مدار R6 را اضافه کنیم هیچ تاثیری ندارد در واقع جواب همان  $I_x$  ,  $I_3$  میباشد . (در ضمن مقاومت با مقاومت یا سری است یا موازی)

قانون تقسیم ولتاژ (اثبات)

مدار تک حلقه است پس  $I_1$  ,  $I_2$  را منویسیم



$$\text{KVL) } -V_s + V_1 + V_2 = 0 \Rightarrow V_s = V_1 + V_2$$

$$V_s = R_1 \cdot I_s + V_2 \Rightarrow V_2 = V_s - R_1 \cdot I_s$$

$$I_s = - \frac{V_2}{R_1} = \frac{V_s - V_2}{R_1}$$

فرمول اصلی :

$$V_1 = \frac{+}{+} \times$$

If  $V_2 = V_S - R_1 I_S$  Then  $\left( I_S = \frac{1}{1 + \frac{2}{2}} \right) \rightarrow V_2 = V_S - R_1 \left( \frac{1}{1 + \frac{2}{2}} \right)$

$$\rightarrow V_S \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{2}} \right) \rightarrow V_S \left[ \frac{1 + \frac{2}{2} - 1}{1 + \frac{2}{2}} \right]$$

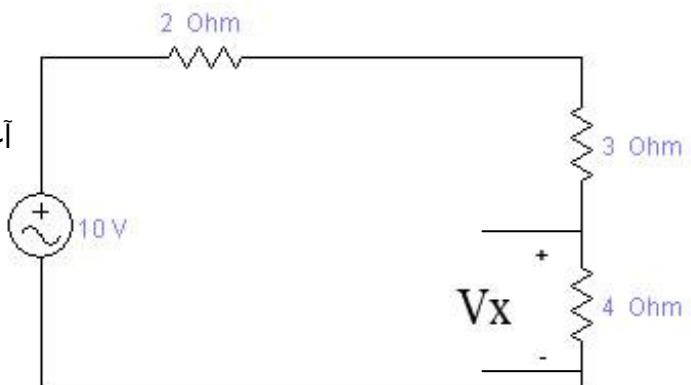
$$V_S = \frac{2}{1 + \frac{2}{2}} \times V_S$$

فرمول اصلی

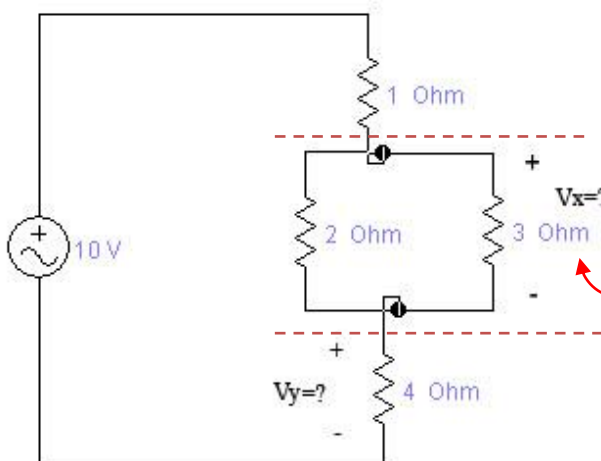
(مثال)

$$V_X = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \times$$

آخرین مقاومت در مدار تقسیم بر کل مقاومت ها  
برای بدست آوردن  $V_X$



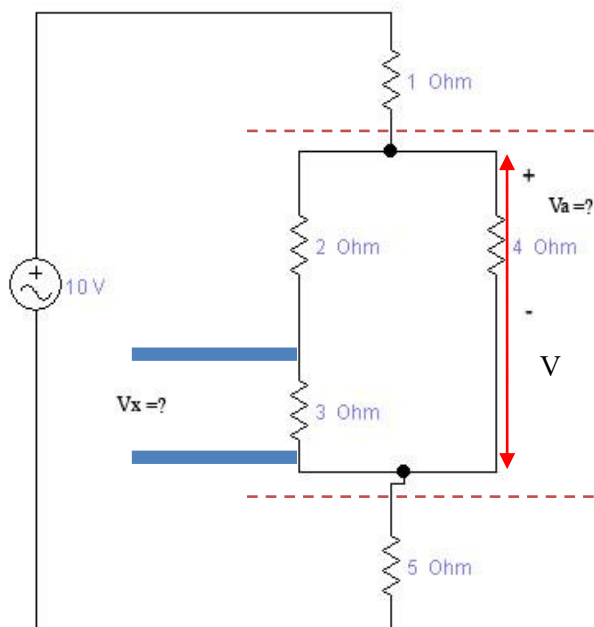
(مثال)  $V_X$  و  $V_Y$  را بیابید ؟



$$V_Y = \frac{4}{4 + (1 + (2 \parallel 3))} \times 10$$

$$V_X = \frac{\frac{2 \times 3}{2 + 3}}{2 + 3 + 1 + 4} \times 10$$

نکته: مقاومت های موازی ضرب و مقاومت های سری با هم جمع می شوند



مثال)  $V_A$  و  $V_X$  را بیابید ؟

$$V_A = \frac{+}{+ \text{ صورت} +} \times = - \times = -$$

$$V_A = 7.6$$

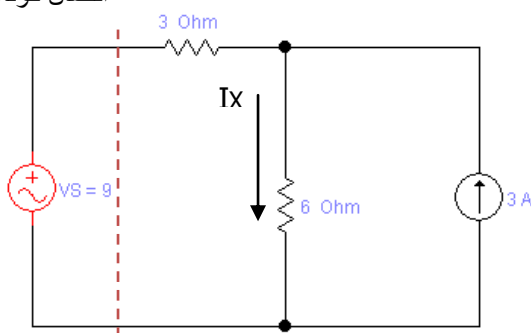
$$V_X = \frac{+}{+} \times V_A = - \times . = .$$

### روش های تحلیل مدار

1) **روش جمع آثار:** این روش در مدارهایی کاربرد دارد که تعداد منابع استفاده شده در آن مدارها بیش از یک عدد باشد. روش کار به این صورت می باشد که فقط یک منبع را نگه داشته و بقیه منابع را می کشیم و سپس مجهول خواسته شده را در این حالت بدست آورده و در مرحله دوم منبع دوم را نگه داشته و بقیه را کشته و در این حالت مجهول را حساب می کنیم. و این کار را تا زمانی انجام می دهیم تا تمامی منابع به نوبت در مدار قرار گیرد و سپس مجهولات بدست آورده از هر مرحله را با درنظر گرفتن علامت آن ها باهم جمع می کنیم.

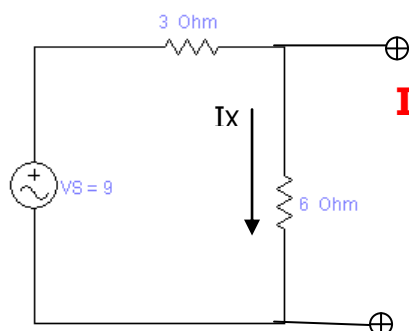
مثال)

اتصال کوتاه



کشتن منابع به این صورت است که منابع ولتاژ را اتصال کوتاه و منابع جریان را اتصال باز خواهیم داد

مرحله اول (با دو روش امکان پذیر است)

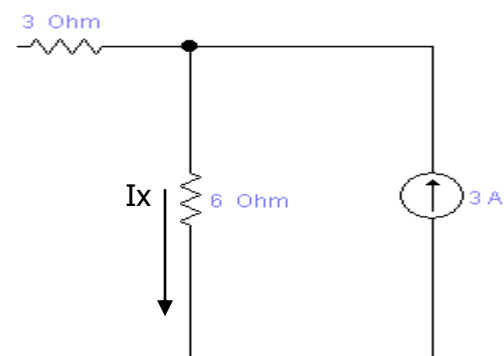


$$I_{X1} = \frac{9}{3+6} = 1 \quad \text{روش اول}$$

$$\text{KVL) } -9 + 3I_{X1} + 6I_{X1} = 0$$

روش دوم به کمک KVL

$$9I = 9 \Rightarrow I = 1$$



مرحله دوم ( با استفاده از قانون تقسیم جریان حل می کنیم  
فقط اگر جهت جریان رو به پایین باشد در مرحله آخر علامت منفی

$$I_{x2} = \frac{3}{3+6} \times 3 = \frac{9}{9} = 1 \quad (\text{می شود})$$

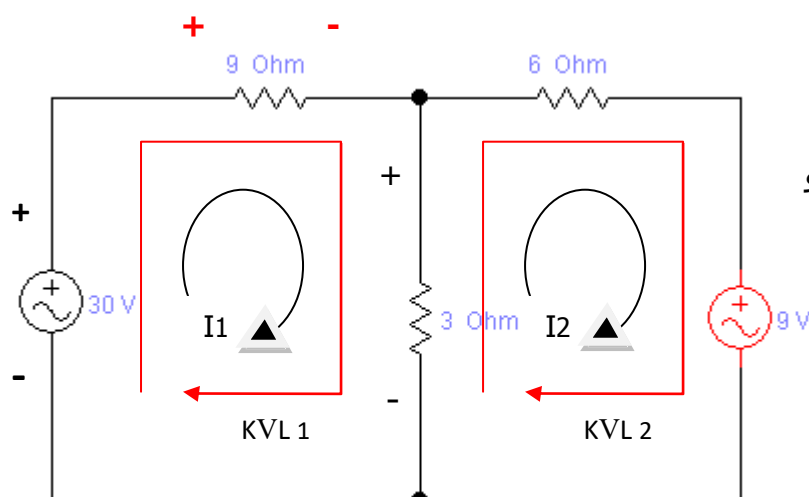
$$I_X = I_{x1} + I_{x2} = 2 \quad \text{مرحله آخر}$$

## روش دوم تحلیل مدار

2- روش جریان حلقه ها ( جریان خانه )

در این روش ابتدا تعداد حلقه های مدار را تشخیص داده و سپس برای هر حلقه يك KVL خواهیم نوشت  
سپس معادلات حاصل از KVL را در يك دستگاه قرار داده و مقادیر جریان ها را محاسبه می کنیم .

( مثال )



دو تا حلقه داریم برای آنها اسم گذاشته و  
دو تا KVL می زنیم .

$$\text{KVL 1) } -30 + 9i_1 + 3(i_1 - i_2) = 0$$

$$\text{KVL 2) } 3(i_2 - i_1) + 6i_2 + 9 = 0$$

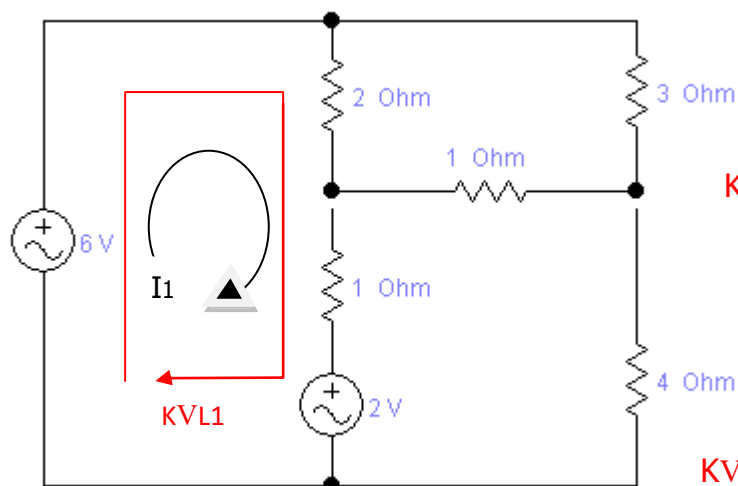
$$\begin{cases} 12i_1 - 3i_2 = 30 \\ -3i_1 + 9i_2 = -9 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 36i_1 - 9i_2 = 90 \\ -3i_1 + 9i_2 = -9 \end{cases}$$

$$33i_1 = 81 \Rightarrow i_1 = \frac{81}{33}$$

$$12\left(\frac{81}{33}\right) - 3i_2 = 30 \Rightarrow i_2 = \frac{30-29}{-3} = -\frac{1}{3}$$

$$V_{9\Omega} = R \times i_1 = 9 \times \frac{81}{33}$$

( مثال )



$$\text{KVL 1)} = -6 + 2(i_1 - i_2) + 1(i_1 - i_3) + 2 = 0$$

$$= 3i_1 - 2i_2 - i_3 = 4$$

$$\text{KVL 2)} = 2(i_2 - i_1) + 3i_2 + 1(i_2 - i_3) = 0$$

$$= -2i_1 + 6i_2 - i_3 = 0$$

$$\text{KVL 3)} = -2 + 1(i_3 - i_1) + 1(i_3 - i_2) + 4i_3 = 0$$

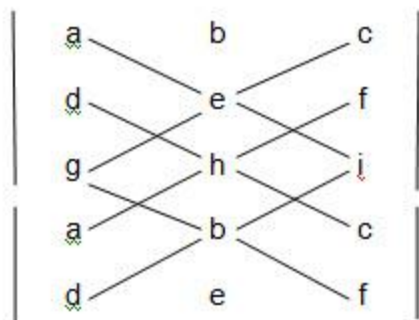
$$= -i_1 - i_2 + 6i_3 = 2$$

$$\begin{cases} 3i_1 - 2i_2 - i_3 = 4 \\ -2i_1 + 6i_2 - i_3 = 0 \\ -i_1 - i_2 + 6i_3 = 2 \end{cases}$$

دستگاه معادله سه مجهول

**نکته :** متوانیم از دترمینال نیز استفاده کنیم .

روش دوم : در این روش دوسطر اول را به آخر ماتریس اضافه می کنیم.



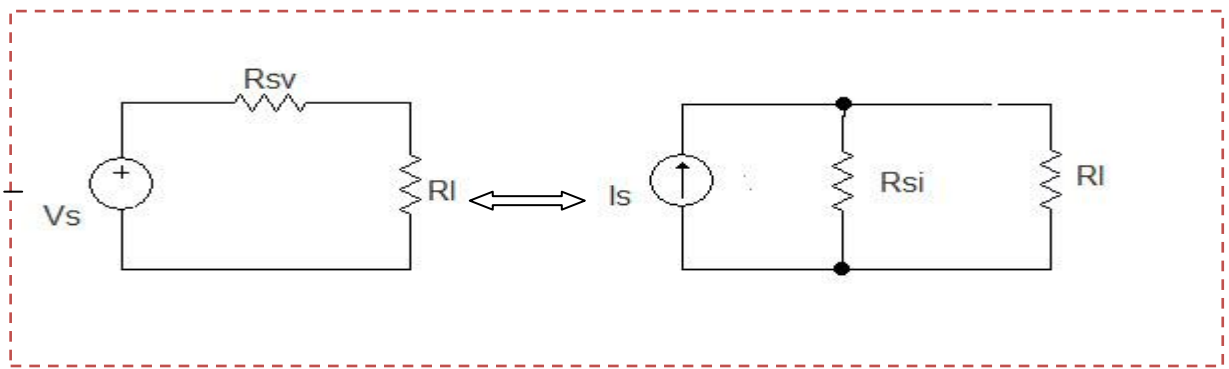
$$\Rightarrow \left[ aei + dhc + gbf \right] - \left[ ceg + fha + ipd \right]$$

### روش سوم تحلیل مدار

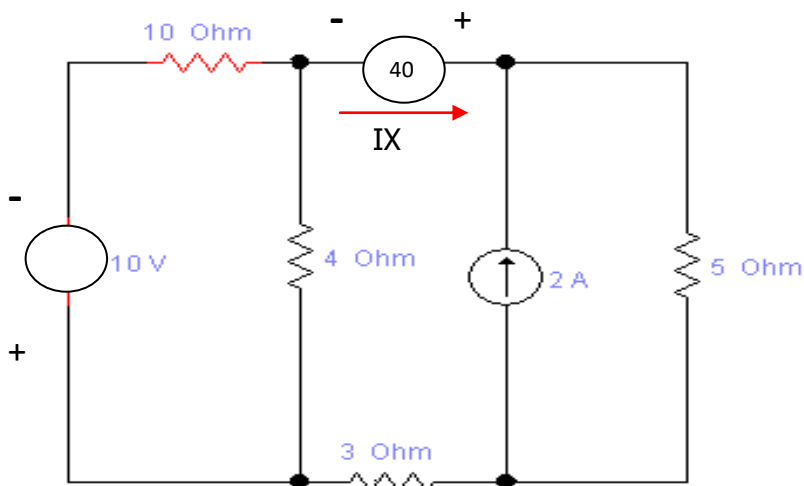
**روش تبدیل منابع :** در این روش قبل از محاسبه کردن مقادیر خواسته شده می توان با تبدیل منابع شکل مدار را ساده کرده و مقادیر را به آسانی بدست آورد . در این روش منابع ولتاژ را تبدیل به منابع جریان و بالعکس خواهیم کرد .

تبدیل زمانی که منبع به ولتاژ سری

تبدیل زمانی که منبع به جریان موازی



$$V_s = R_{sv} I \times I_s \quad \text{و} \quad R_{sv} = R_{si} \quad \text{و} \quad I_s = \frac{V_s}{R_{sv}}$$

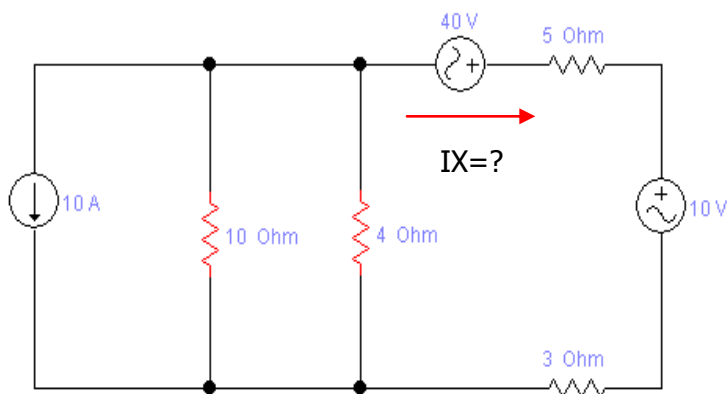


**مثال** رسم را با روش تبدیل منابع حل کنید؟

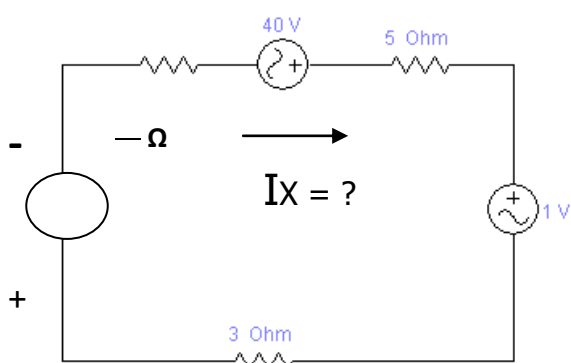
( IX که مجهول است اصلا دست نمی زنیم )

**مرحله اول**

با IX که مجهول است کاری نداریم



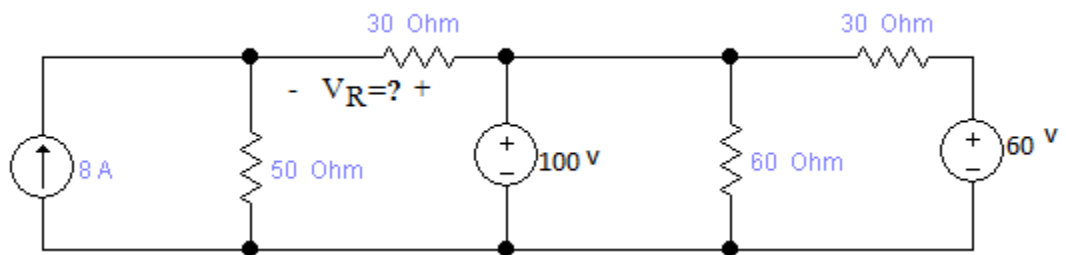
$$10 \parallel 4 = \frac{4 \times 10}{4 + 10} = \frac{40}{14} = \frac{20}{7}$$



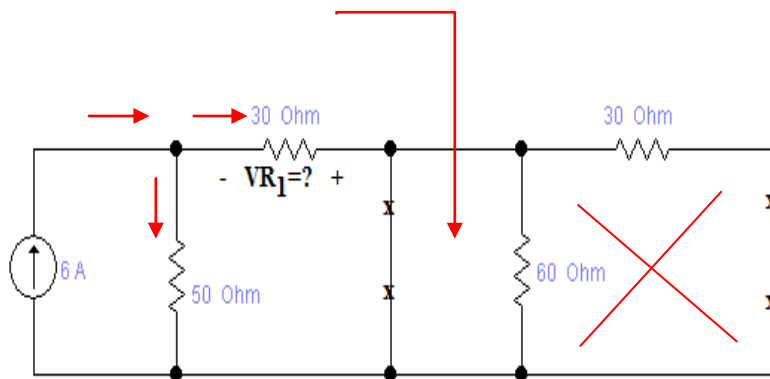
**KVL** ) + - + - - + + +

$$= \Rightarrow \text{جواب} \times = ?$$

**مثال)** با استفاده از روش جمع آثار  $V_R$  را بدست آورید؟



مرحله یک

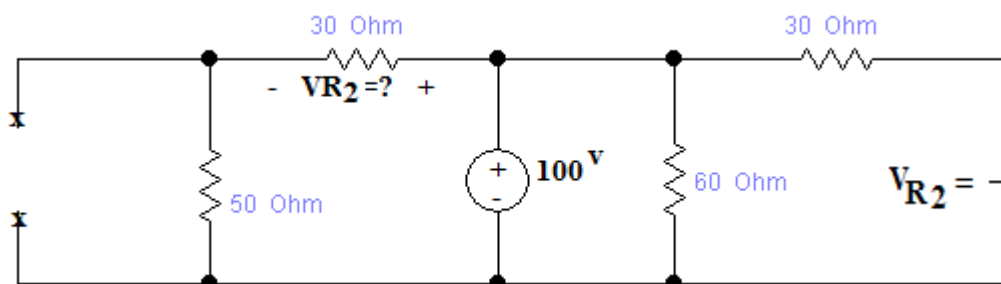


$$V_{R1} = R_1 * I = -30 * 5 = -150 \text{ v}$$

$$I_{30\Omega} = \frac{50}{50+30} * 8 \text{ A} = 5$$

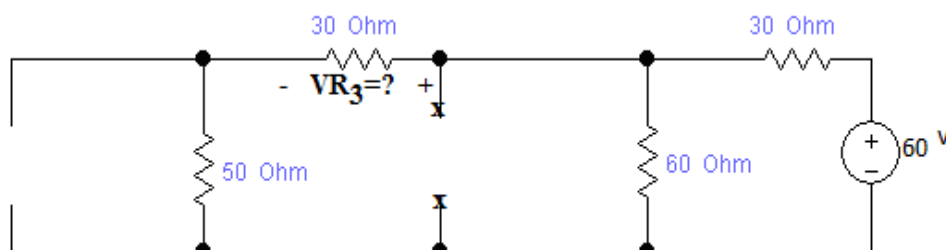
از سمت سخت مدار جریان عبور نمی کند

مرحله دوم

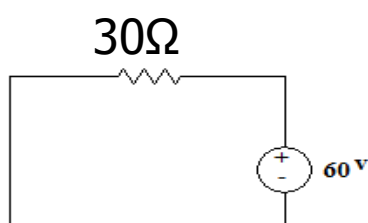


$$V_{R2} = \frac{30}{30+50} * 100 \text{ V} = 37.5 \text{ V}$$

مرحله سه



$$V_{R3} = 0 \text{ V}$$

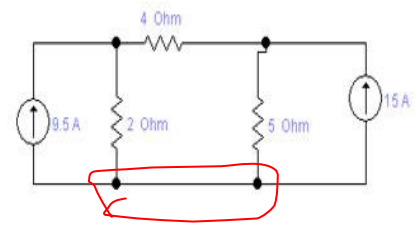


جواب همه ی اینها را جمع می کنیم تا  $V_R$  کل به دست آید..  $V_R =$

$$V_R = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = -150 + 37.5 + 0 = -112.5 \text{ V}$$

## از روش های تحلیل مدار

**روش پتانسیل گره :** در این روش ابتدا تعداد گره های مدار را تشخیص داده و سپس آنها را شماره گذاری می کنیم به این صورت که  $n$  گره داشته باشیم  $n-1$  گره را شماره گذاری کرده و یکی را به عنوان گره زمین در نظر میگیریم سپس  $n-1$  تا رابطه KCL نوشته و از این طریق ولتاژ تک تک گره ها را به دست می آوریم با مشخص شدن مقادیر ولتاژ هر پارامتر دیگری را می توان محاسبه کرد.



سیم گره محسوب نمی شود

**تذکر :** معمولاً گره ای را زمین خواهیم گرفت که دارای بیشترین تعداد شاخه باشد و بدانیم که سیم گره محسوب نمی شود .

**KCL** مجموع جریان های خارج شونده برابر وارد شونده

$$kcl (nod-1) = I_1 + I_2 = 9.5$$

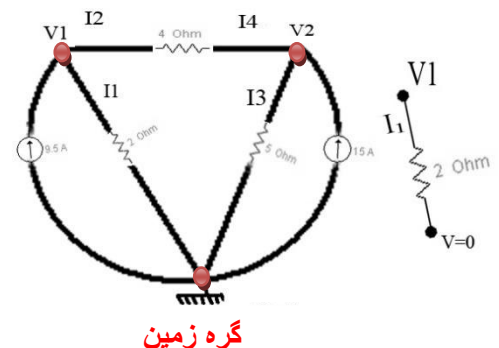
$$\text{---} + \text{---} = . \Rightarrow \text{---} = \text{---} = \text{---} = .$$

$$\text{---} = \text{---} = . \Rightarrow 0.5v_1 + 0.25v_1 - 0.25v_2 = 0.5$$

$$kcl (nod-2) = I_3 + I_4 = 0.5$$

$$\text{---} + \text{---} = .$$

$$\text{---} = \text{---} = . \Rightarrow 0.2v_2 + 0.25v_2 - 0.25v_1 = 0.5$$



## تشکیل دستگاه :

$$\begin{cases} 0.5V_1 + 0.25V_2 - 0.25V_2 = 9.5 \\ 0.2V_2 + 0.25V_2 - 0.25V_1 = 0.5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0.75V_1 - 0.25V_2 = 9.5 \\ 0.25V_1 + 0.45V_2 = 0.5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0.75V_1 - 0.25V_2 = 9.5 \\ -0.75V_1 + 1.35V_2 = 1.5 \end{cases}$$

$$\underline{1.1V_2 = 11 \Rightarrow V_2 = 11/1.1 = 10}$$

$$V_1 = 0.75V_1 - 0.25 \times 10 = 9.5$$

$$0.75V_1 = 9.5 + 2.5 = 12$$

$$0.75V_1 = 12 \Rightarrow V_1 = \frac{12}{0.75} = 16$$

## یاد آوری :

$I = -$  قانون اهم

$$kcl (nod-1) = \frac{v_1 - v_2}{5} + \frac{1 - 3}{3} = -20$$

$$\frac{3}{15} - \frac{1}{15} = \frac{5}{15} \quad 1 - \frac{5}{15} \quad 2 = 3 \quad 1 - 3 \quad 2$$

$$3v_1 - 3v_2 + 5v_1 - 5v_3 = -300$$

$$8v_1 - 3v_2 - 5v_3 = -300$$

$$Kcl (nod-2) \frac{2 - 1}{5} + \frac{2 - 3}{4} + \frac{2 - 0}{1} = -8$$

$$\frac{10}{5}v_2 = 2v_2$$

$$\frac{20}{5}v_1 = 4v_1$$

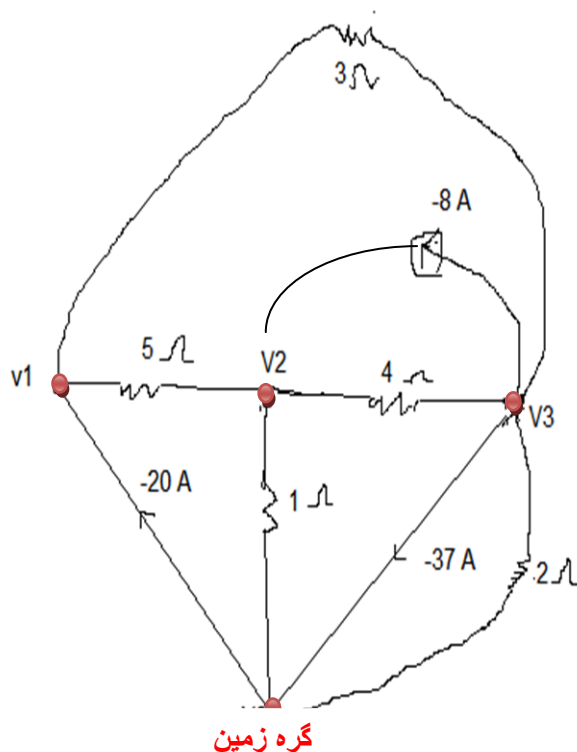
$$4v_2 - 4v_1 + 5v_2 - 5v_3 + 20v_2 = -160$$

$$-4v_1 + 29v_2 - 5v_3 = -160$$

$$Kcl (nod-3) = \frac{3 - 2}{4} + \frac{3 - 1}{3} + \frac{3 - 0}{2} + (-37) + (-8) = 0$$

$$3v_3 - 3v_2 + 4v_3 - 4v_1 + 6v_3 - 444 - 96 = 0$$

$$-4v_1 - 3v_2 + 13v_3 = 540$$



تشکیل دستگاه و حل با درمینال سه مجهولی

$$\begin{cases} -8v_1 - 3v_2 - 5v_3 = -300 \\ -4v_1 + 29v_2 - 5v_3 = -160 \\ -4v_1 - 3v_2 + 13v_3 = 540 \end{cases}$$

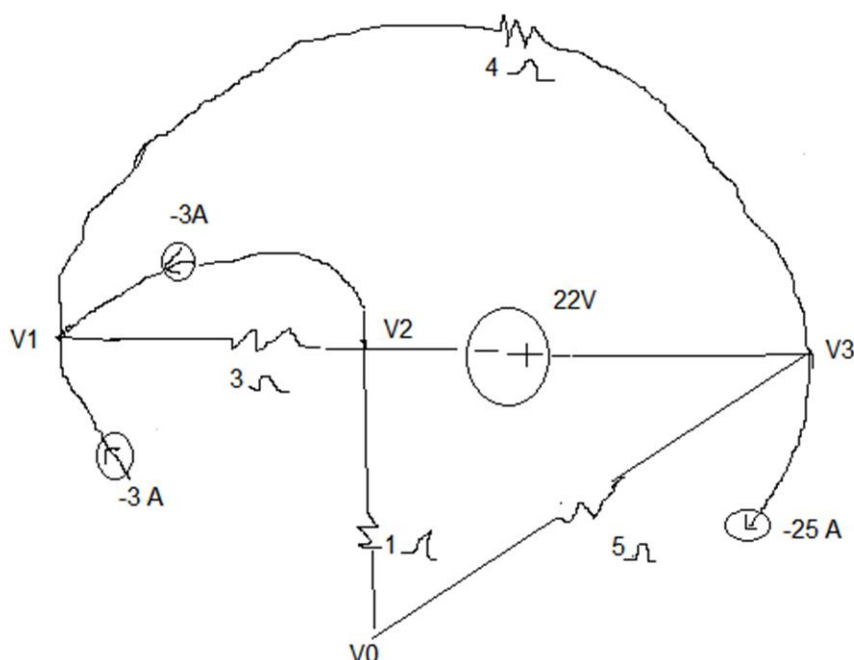
در روش پتانسیل گره اگر بین دو گره منبع ولتاژ مستقل یا وابسته داشته باشیم **دیگر برای آن دو گره به صورت مستقل نمیتوان KCL نوشت**

روش کار در این موارد به این صورت است که :

دو گره را به عنوان یک گره بزرگ در نظر گرفته و برای گره بزرگتر یک رابطه KCL نوشته و به ازای رابطه KCL دوم از سایر قوانین استفاده کرده و یک رابطه دیگر خواهیم داشت .

( مثال )

گره زمین

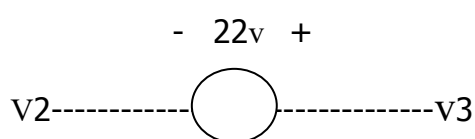


$$\text{KCL (nod-1)} \quad \frac{1-3}{4} + \frac{1-2}{3} = (-8) + (-3)$$

$$4v_1 - 4v_2 + 3v_1 - 3v_3 = -96 - 36 = 7v_1 - 4v_2 - 3v_3 = -132$$

$$\text{KCL(nod.2,3)} \quad \frac{2-1}{3} + \frac{2-0}{1} + (-3) + \frac{3-0}{5} + \frac{3-1}{4} + (-25) = 0$$

$$V_3 - V_2 = 22v$$



$$20v_2 - 20v_1 + 60v_2 - 180 + 12v_3 + 15v_3 - 15v_1 - 1500 = 0$$

$$-35v_1 + 80v_2 + 27v_3 = 1680$$

$$\begin{cases} 7v_1 - 4v_2 - 3v_3 = -132 \\ -35v_1 + 80v_2 + 27v_3 = 1689 \\ 2v_1 - v_2 + v_3 = 2v_2 \end{cases}$$

قضیه انتقال توان حداکثر :

$$V_L \Rightarrow \max \Rightarrow R_L \Rightarrow \max, R_L \Rightarrow I_L = 0 \Rightarrow R_L = V_L I_L = 0$$

$$I_L \Rightarrow \max \Rightarrow R_L \Rightarrow \min, R_L \Rightarrow 0 \Rightarrow V_L \Rightarrow 0 \Rightarrow R_L = V_L I_L = 0$$

$$V_L = \frac{V_S}{1 + \frac{R_L}{R_S}} \times \quad I_L = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

$$R_L = V_L \times I_L = \frac{V_S^2}{(R_S + R_L)^2} \times R_L \Rightarrow R_L = X$$

$$Y = - \Rightarrow \frac{dY}{dX} = 0$$

$$\frac{d}{dR_L} \left( \frac{V_S^2 R_L}{(R_S + R_L)^2} \right) = 0$$

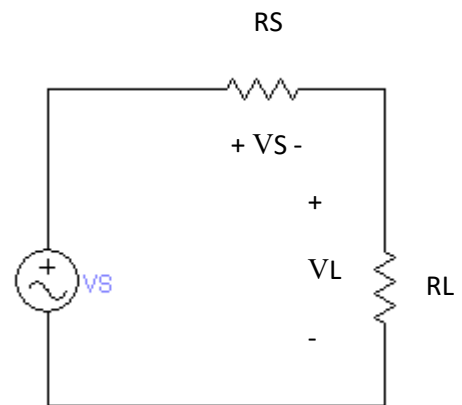
$$\frac{V_S^2 (R_S + R_L)^2 - 2 V_S^2 R_L (R_S + R_L)}{(R_S + R_L)^4} = 0$$

$$R_S^2 + 2 R_S R_L + R_L^2 - 2 R_L R_S - 2 R_L^2 = 0$$

$$R_S^2 - R_L^2 = 0 \Rightarrow R_L = \pm R_S$$

$$\Rightarrow R_L^2 - R_S^2 = 0 \Rightarrow R_L^2 = R_S^2 \Rightarrow R_L = \pm R_S$$

$$\Rightarrow P_{L\max} = \frac{V_S^2}{4 R_S} \Rightarrow P_{L\max} = \frac{V_S^2}{4 R_S}$$

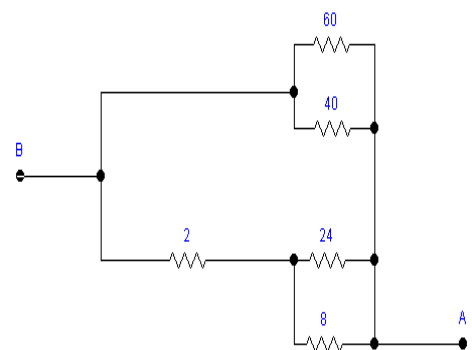
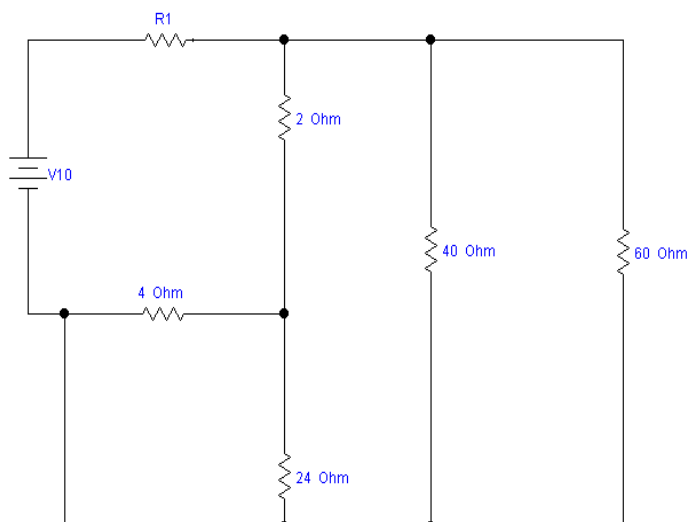


### مثال (

در مدار زیر RL را طوری تعیین کنید که بیشترین توان را جذب کند و مقدار max توان مصرفی آن را حساب کنید.

**تذکر:** همان طور که میدانیم برای آنکه توان مصرفی RLmax شود باید مقدار RL مساوی مقاومت معادل دیده شده از دو سر RL باشد. برای به دست آوردن مقاومت معادل ابتدا باید منابع مستقل را حذف کنیم (منابع ولتاژ اتصال کوتاه و منابع

جریان اتصال باز)



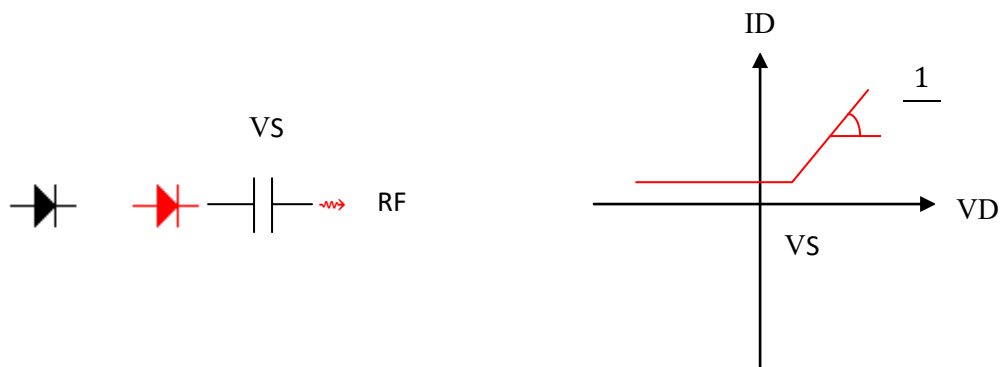
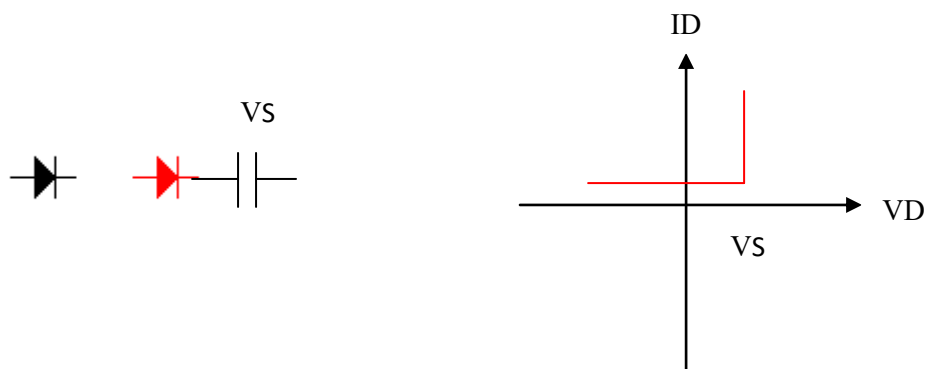
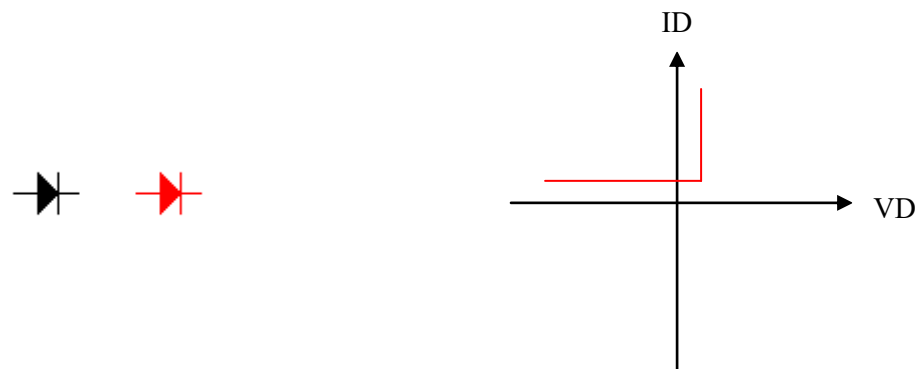
$$R_L = ?$$

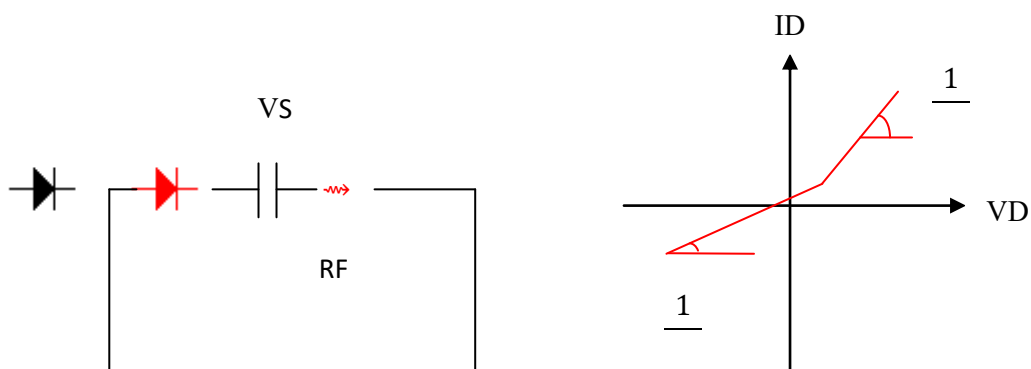
$$R_{EQ} = \frac{24 \times 8}{24 + 8} + 2 = \frac{40}{32} + 2 = 1.25 + 2 = 3.25 \quad \frac{40 \times 60}{100} = 24 = \frac{8 \times 24}{8 + 24} = 6 \Omega$$

$$R_2 = R_{EQ} = 6 \Omega \Rightarrow P_{MAX} = ?$$

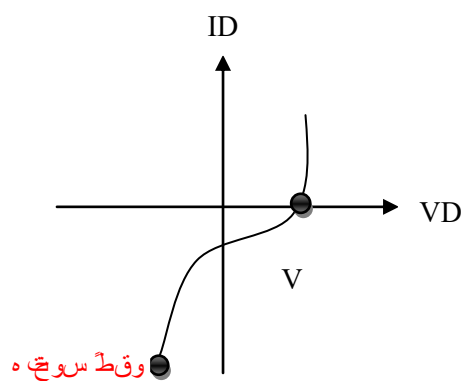
$$P_{MAX} = \frac{I^2}{4} = \frac{10^2}{4 \times 6} = \frac{100}{24} = 4.16$$

دیود (Diode) مدل های مختلف دیود در مدار DC



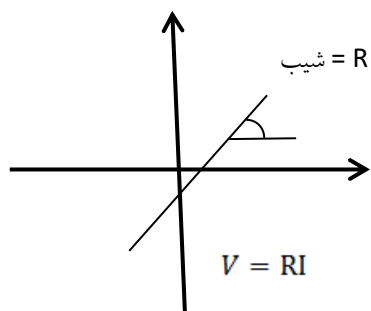
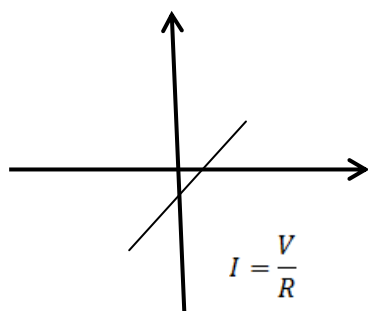


$$I_D = I_S (e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1)$$



شیب  
 $M = \infty$

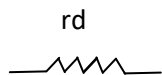
خط  $M = 0$



### شرح دیود ها :

در مدل های اخیر مدل آخر کاملترین مدل برای جایگزین کردن دیود خواهد بود زیرا در آن هم ولتاژ سر دیود و هم مقاومتی که دیود در بایاس مستقیم (تغذیه) از خود نشان می دهد و نیز جریان اشباع معکوس دیود لحاظ شده است. در ضمن مدل اول مربوط به مدل ایده آل دیود بوده و اکثراً در مسائل از این مدل استفاده خواهیم کرد.

**تذکر:** مدل هایی که اشاره شده در مدارات با منبع DC جایگزین خواهیم کرد اما در حالت AC دیود را با یک مقاومت RD به صورت زیر جایگزین خواهیم کرد .

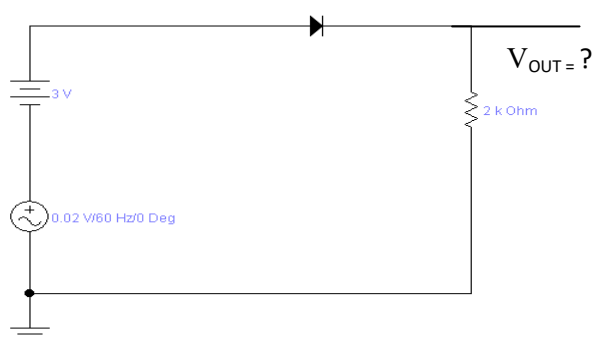


$$r_d = \frac{v_t}{I_{D(dc)}}$$

$$v_t = \text{ولتاژ حرارتی} = 25 \text{ mV}$$

$$V = \frac{kt}{q}$$

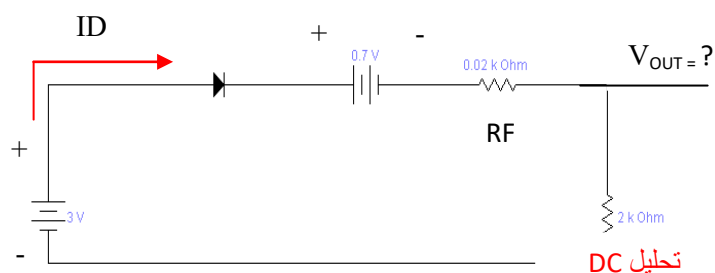
**مثال:** در مدار زیر  $V_{OUT}$  را به دست آورید .



$$\text{KVL}) - 3 + 0.7 + 0.02 I_D + 2I_D = 0$$

$$\Rightarrow 2I_D = 2/3 \Rightarrow I_D = \frac{2/3}{2} = 1/15$$

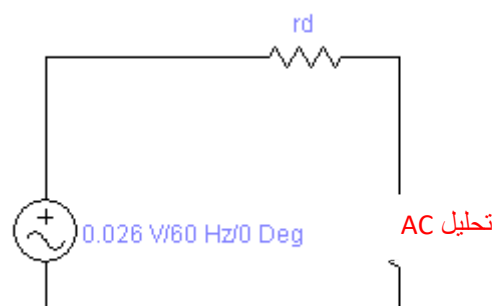
$$= 2 \times \quad = 2 \times 1/15 = 2/3^V$$



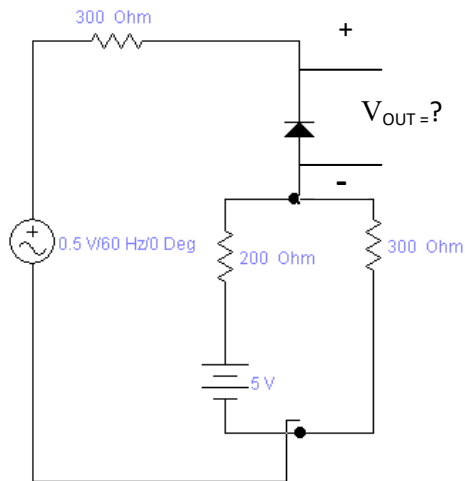
$$r_d = \frac{26}{\frac{1}{15}} \sim 22$$

$$\text{کل } V_{out} = \quad_{dc} +$$

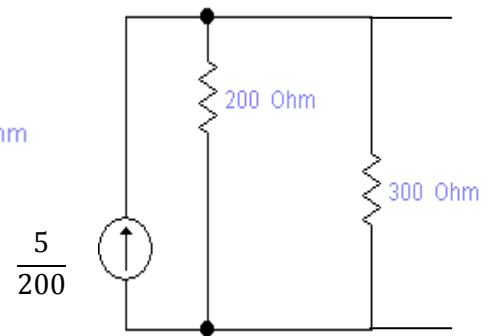
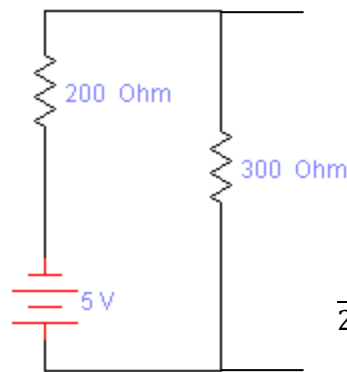
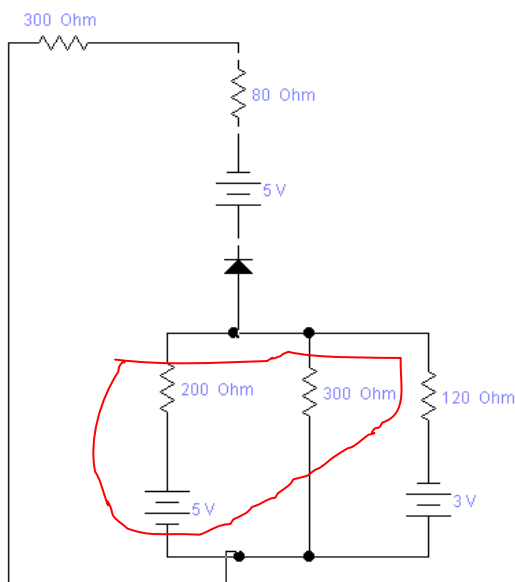
$$= 2/3 + \sin wt$$



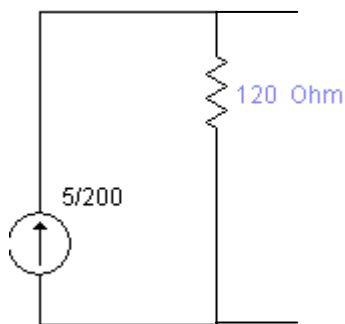
مثال (  $V_{OUT}$  را در مدار زیر محاسبه کنید ؟



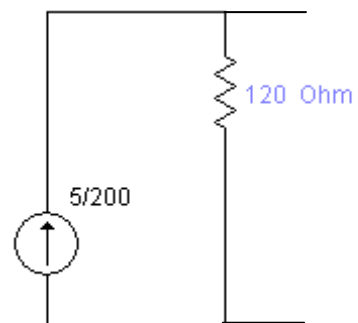
$$D : \begin{cases} V = 0.5V \\ R_F = 30\Omega \end{cases}$$



$$\frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120$$



$$\Rightarrow \frac{5}{200} \times 120 = 3V$$

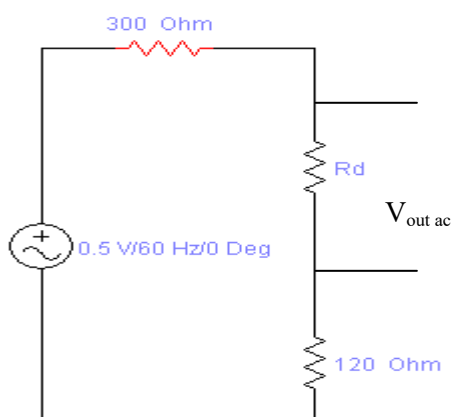


$$\text{KVL) } -3 + 120I_D + 0.5 + 80I_D + 300I_D = 0$$

$$300I_D = 2.5 \Rightarrow I_D = \frac{2.5}{500} = 5^A = 5 \times 1000 = 5000^{MA}$$

تبدیل به میلی آمپر

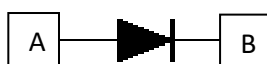
$$V_{OUTDC} = -0.5 - 80I_D = -0.5 - (80 \times 5) = -0.5 - 400 = -400.5V$$



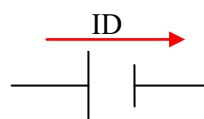
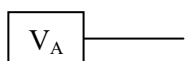
$$V_{out\ ac} = \frac{R_d}{+300+120} \times (0.5 \cos \quad)$$

$$R_d = \frac{(dc)}{25} = \frac{1 \times 26}{25} = 1\Omega = \frac{1}{421} \times (0.5 \cos \quad) = \frac{1}{842} \cos WT$$

$$V_0 = V_{0\ DC} - V_{0\ AC} \Rightarrow -400.5 + \frac{1}{842} \cos WT$$



بفرض خاموش OFF

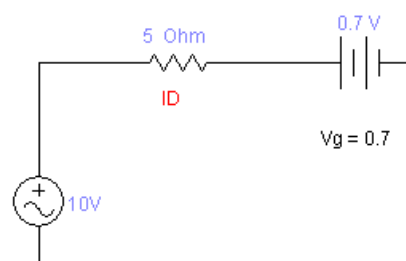
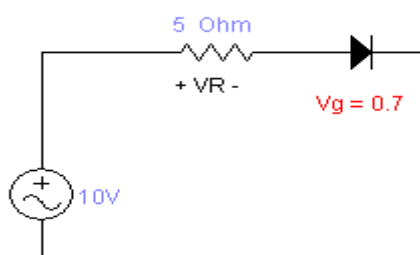


بفرض روشن ON

$$\text{IF } V_A - V_B < V$$

$$\text{IF } I_D > 0^+$$

مثال )



$$\text{KVL) } -10 + 5I_D + 0.7 = 0 \Rightarrow I_D = 9.3 \Rightarrow I_D = \frac{9.3}{5} \approx 1.86^A > 0$$

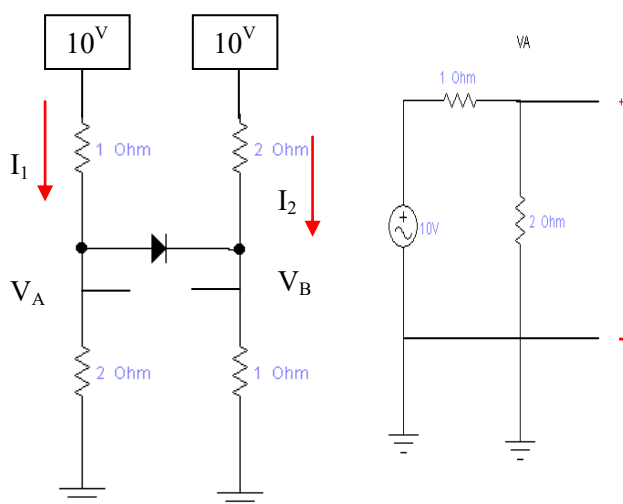
$$V_R = 5\Omega \times I_D \Rightarrow 5 \times 1.86 = 9.3^V$$

فرض دیود روشن مصحح

مثال ) مقادیر جریان های  $I_1$  و  $I_2$  را محاسب کنید ؟

با فرض دیود روشن بهای الهاز )

$$V = 0.5^V$$



$$V_A = \frac{2}{2+1} \times 10 = \frac{20}{3}, \quad V_B = \frac{1}{1+2} \times 10 = \frac{10}{3}$$

$$V_A - V_B = \frac{20}{3} - \frac{10}{3} = \frac{10}{3} \approx 3.3$$

پس طبق رابطه فرض اتصال باز غلط است (OFF)

تأصل أفتواي : D (ON)

$$\text{KVL 1)} \frac{-10}{1} + \frac{-0}{2} + \quad = 0$$

$$\text{KVL 2)} \frac{-10}{2} + \frac{-0}{1} \times$$

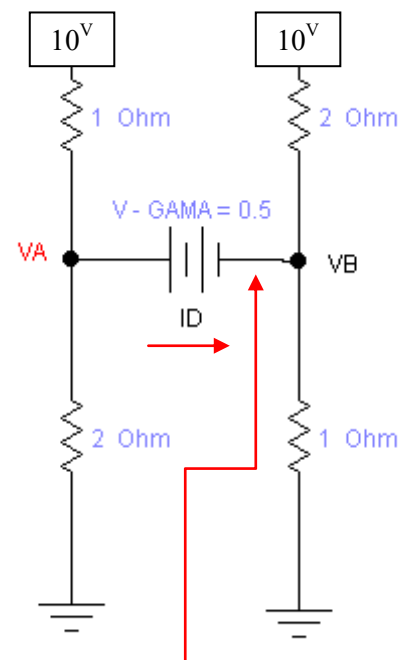
$$\text{A,B)} \frac{-10}{1} + \frac{-0}{2} + \frac{-10}{2} + \frac{-0}{1} = 0$$

$$\text{KVL)} \frac{\quad}{2} + \quad + \quad - 0.5 + \frac{-0.5-10}{2} = 0$$

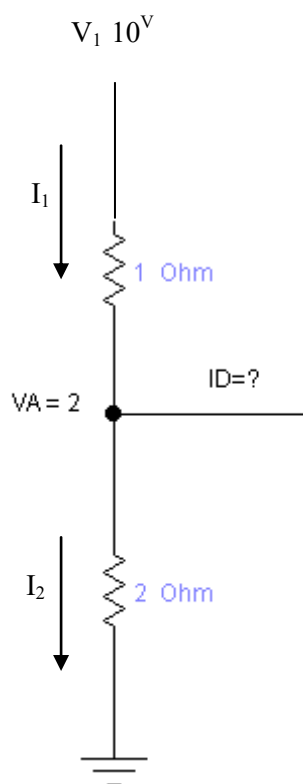
$$V_A + 2V_A + 2V_A - 1 + V_A - 0.5 - 10 = 0$$

$$6 V_A = 11.5 \Rightarrow V_A = \frac{11.5}{6} \simeq 2$$

$$I_1 = \frac{10-5.25}{1} = 4.75, \quad I_1 = \frac{10-2}{1} = 8, \quad I_2 = \frac{2-0}{2} = 1$$



$$V_A - V_B = 0.5 \Rightarrow V_B = V_A - 0.5$$

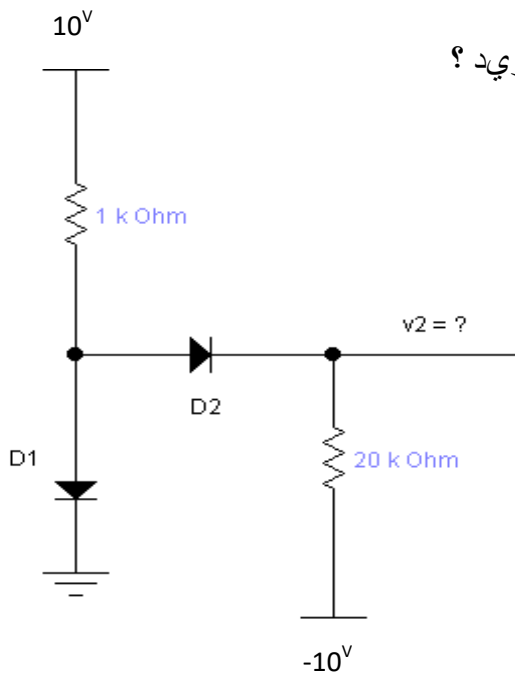


$$I_1 = I_2 + I_D \Rightarrow I_D = I_1 - I_2 = 7^{\text{MA}}$$



$$I = \frac{1-2}{2}$$

نهایی ( در مدار زیر فرض می‌گردد که  $v_2$  را مقدار ولت‌هاست و آری ؟



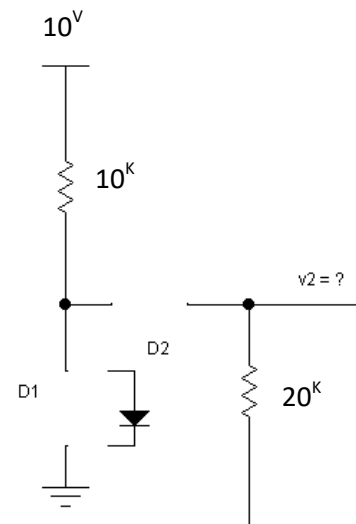
اتصال باز

- 1)  $\left\{ \begin{array}{l} D_1(\text{OFF}), D_2(\text{OFF}) \end{array} \right.$
- 2)  $\left\{ \begin{array}{l} D_1(\text{ON}), D_2(\text{OFF}) \end{array} \right.$
- 3)  $\left\{ \begin{array}{l} D_1(\text{OFF}), D_2(\text{ON}) \end{array} \right.$
- 4)  $\left\{ \begin{array}{l} D_1(\text{ON}), D_2(\text{ON}) \end{array} \right.$

اتصال باز ( بررسی حالت اول )

- 1)  $D_1(\text{OFF}), D_2(\text{OFF})$

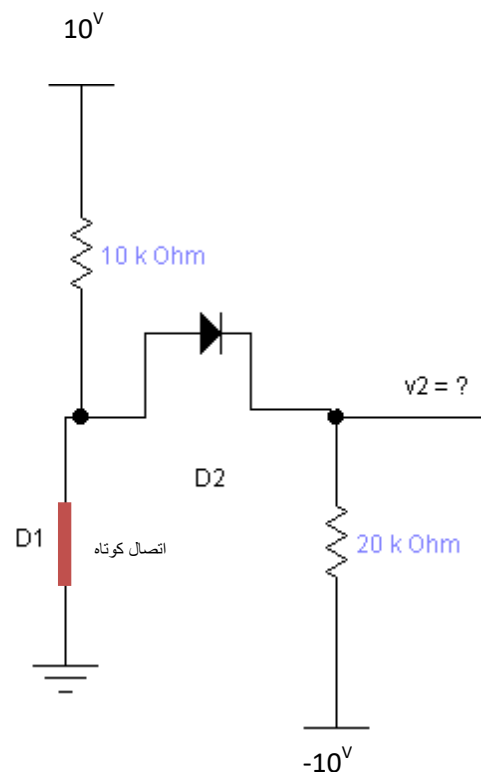
فرض خاموش غلط است ...



بررسی حالت دوم

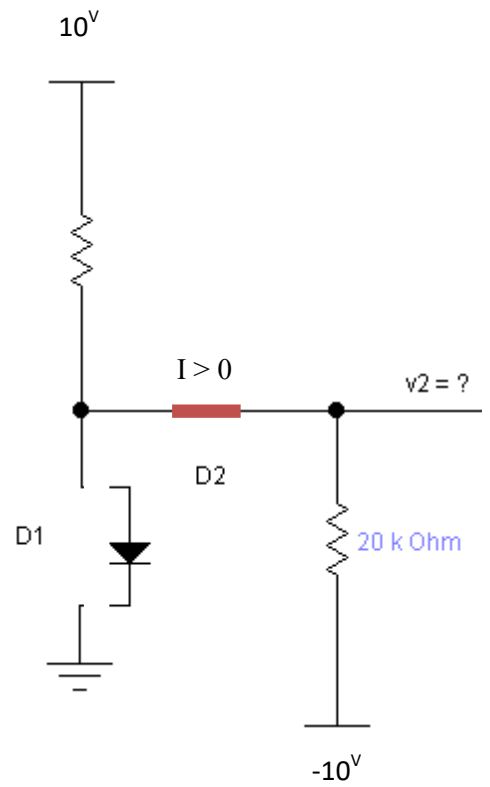
- 2)  $D_1(\text{ON}), D_2(\text{OFF})$

فرض خاموش غلط است ...



بررسی حالت سوم

3)  $D_1(\text{OFF}), D_2(\text{ON})$

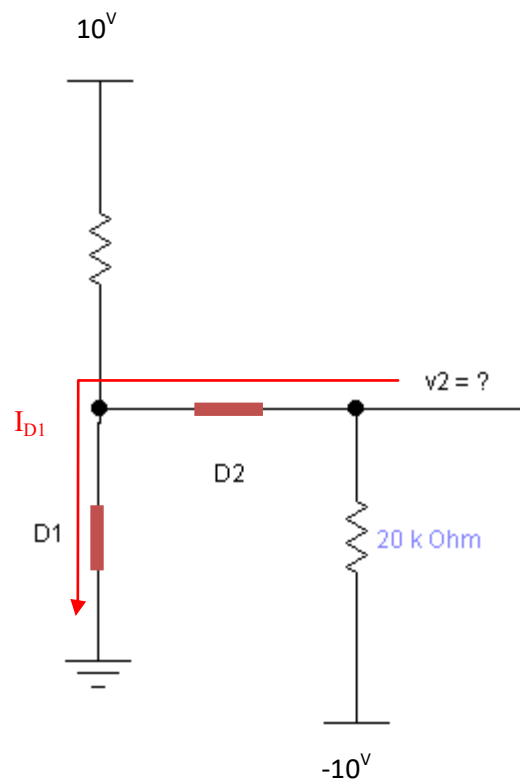


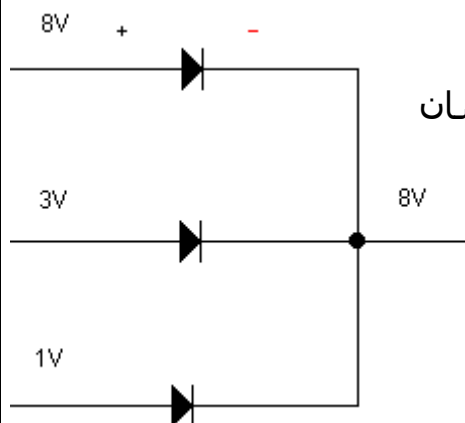
بررسی حالت چهارم ( اتصال کوتاه )

4)  $D_1(\text{ON}), D_2(\text{ON})$

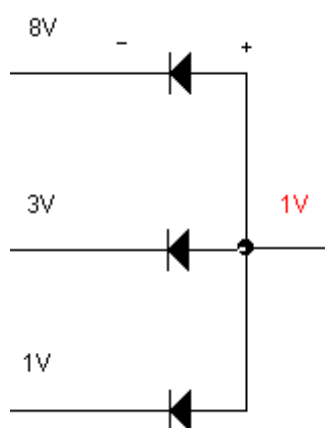
$$I_1 = \frac{10-0}{10} = 1_{\text{MA}} , \quad I_{D2} = \frac{0-(-10)}{20} = 1/2_{\text{MA}}$$

$$I_1 = I_{D1} + I_{D2} \Rightarrow 1_{\text{MA}} = I_{D1} + 1/2_{\text{MA}} \Rightarrow I_{D1} = 1/2_{\text{MA}}$$





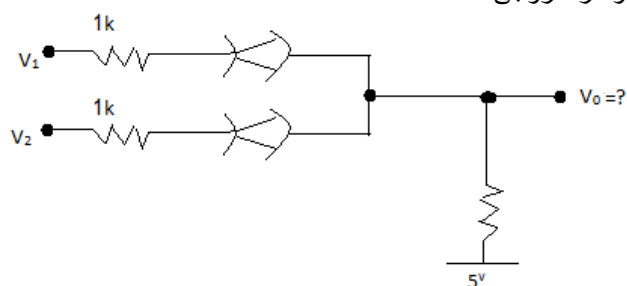
**تذکر:** اگر چند دیود با هم موازی باشند بطوری که مسیرهای مثبت آنها به ولتاژهای مختلف متصل باشد و سرهای منفی شان به يك نقطه وصل باشد از بین آنها دیودی روشن خواهد بود که به بزرگترین ولتاژ متصل است.



**همچنین** اگر چند دیود با هم موازی باشند بطوری که مسیرهای منفی آنها به ولتاژهای مختلف متصل باشد و سرهای مثبت شان به يك نقطه وصل باشد از بین آنها دیودی روشن خواهد بود که به کمترین ولتاژ متصل است

و موصولات لقی لوی :

برای حالت های زیر؟ ( $V_0$ ) در مدار شکل زیر دیود ای ایده آل هستند مطلوبست ولتاژ خروجی

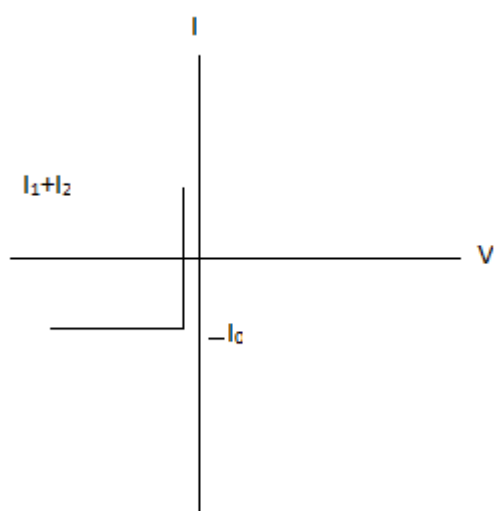
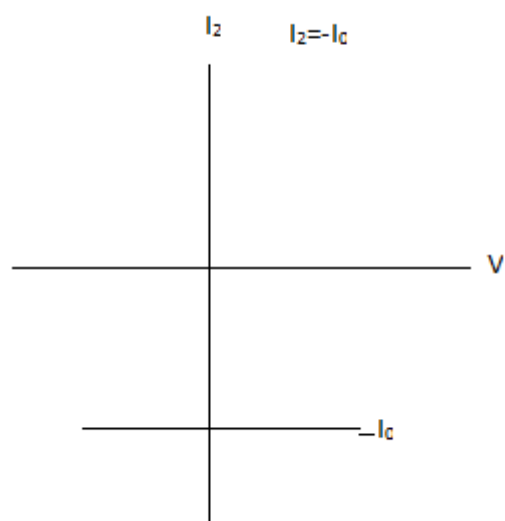
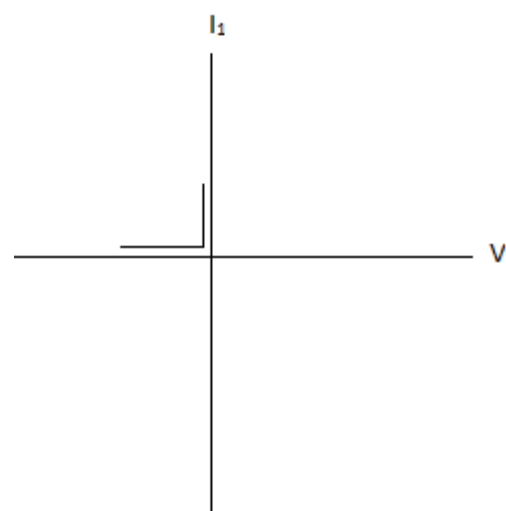
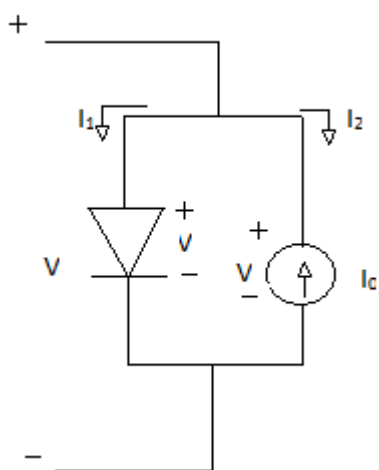


(ب)  $V_1 = V_2 = 5^v$

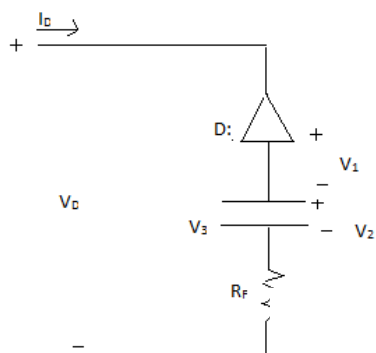
(الف)  $V_1 = 5^v$  و  $V_2 = 0^v$

(ج)  $V_1 = V_2 = 0^v$

مثال) منحنی مشخصه  $i$  بر حسب  $v$  را بدست آورید؟

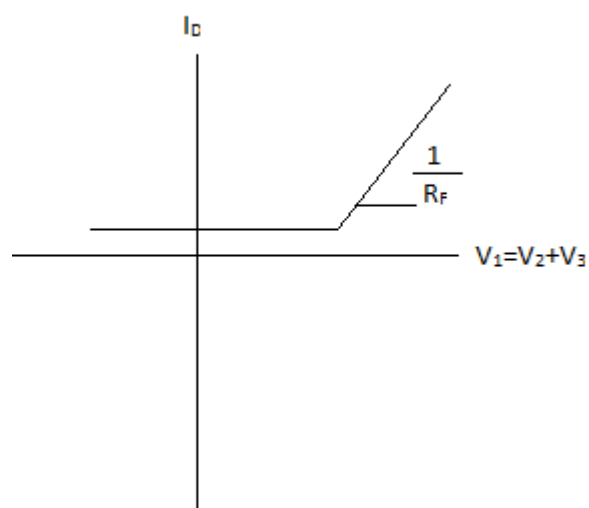
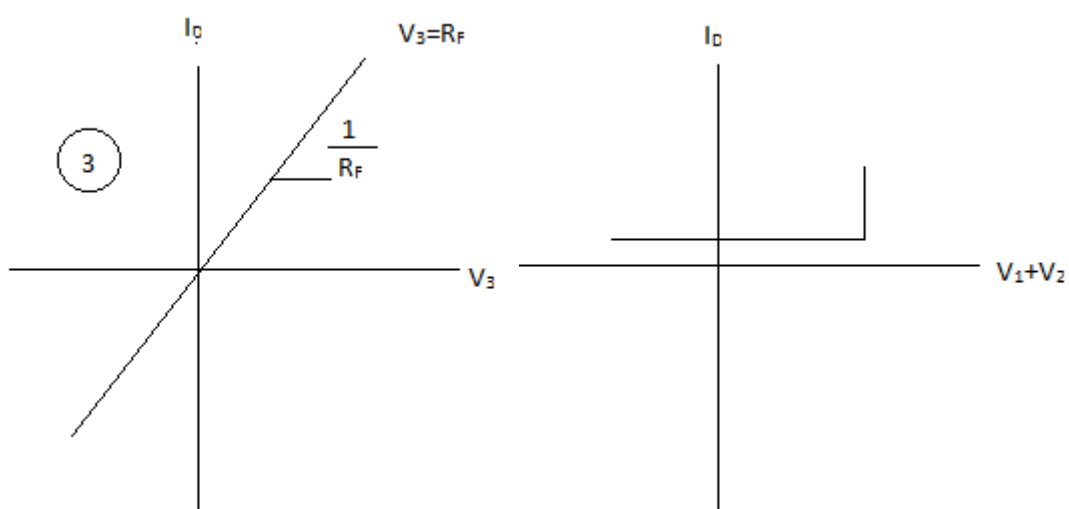
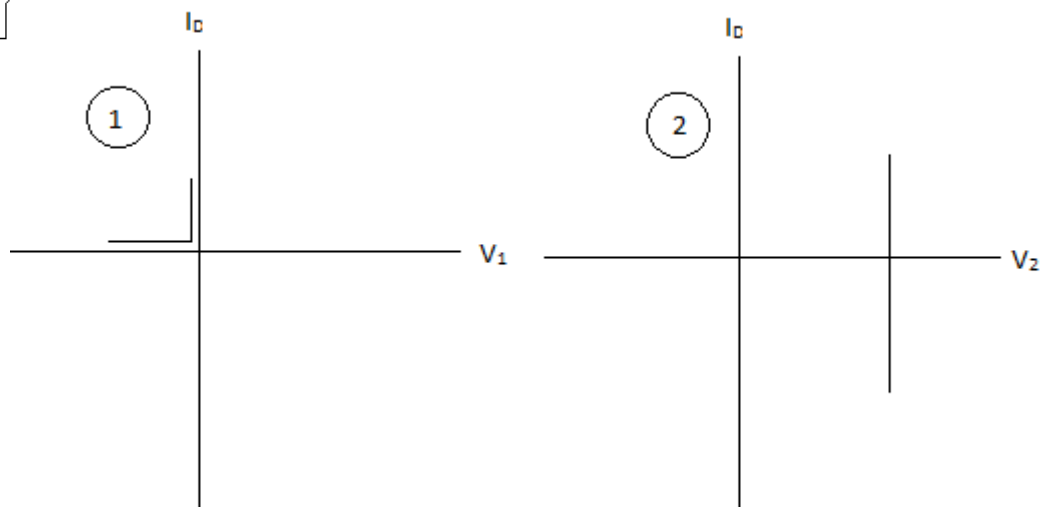


(مثال)

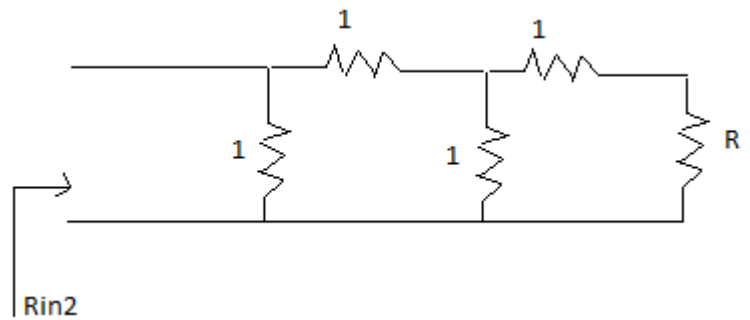
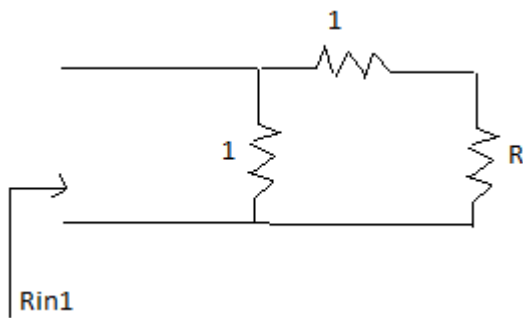


$$V_D = V_1 + V_2 + V_3$$

$$I_D = I_1 = I_2 = I_3$$



نمونه سوال امتحانی در صورتی که مقاومت ورودی هر دو شبکه زیر برابر باشد مطلوبست محاسبه مقدار  $R=?$



ابتدا  $R_{in1}$  را پیدا کرده و سپس  $R_{in2}$  را پیدا کرده و مساوی هم قرار می دهیم.