گره و شاخه
branch Node

علامت گذاری نقطه‌ها منابع

توان‌ها مصرف توان

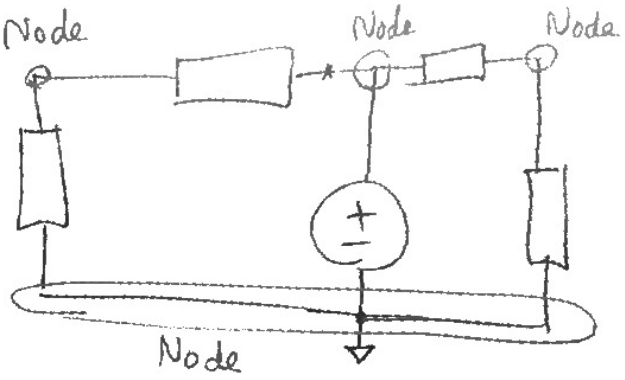
منابع وابسته

KVL
KCL

تقسیم ولتاژ و جریان

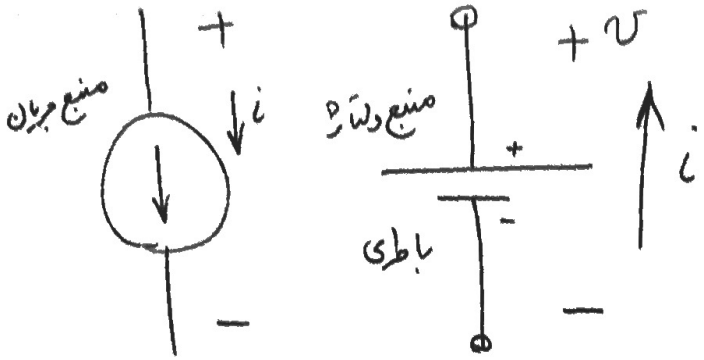
مقاومت سری و موازی

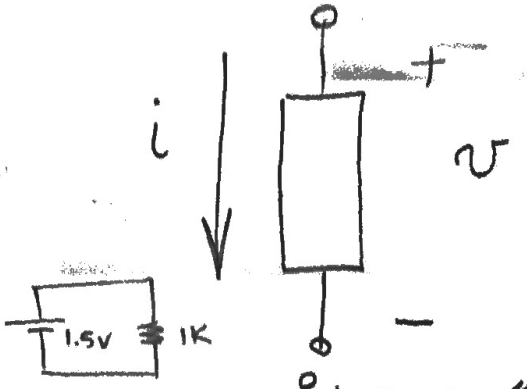
از کتاب Hayt



۴ عدد گره

۵ عدد شاخه





اگر مقاومت باشد

قانون اهم

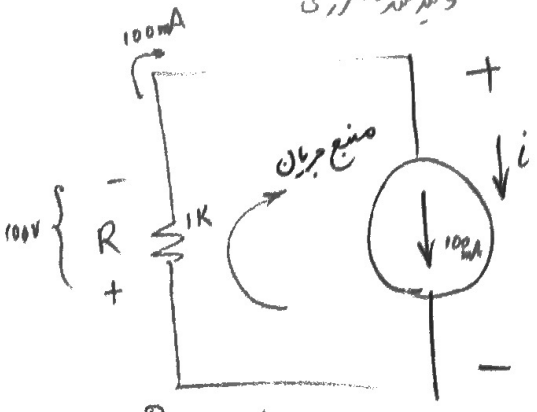
$\upsilon = R\, i$

توان مصرفی مقاومت

$P = \upsilon\, i$

$1.5v\,(1.5mA) = 2.25\,mW$

تولید کننده انرژی



$P_R = v_R i_R$

$= (100V)(0.1A) = 10W$

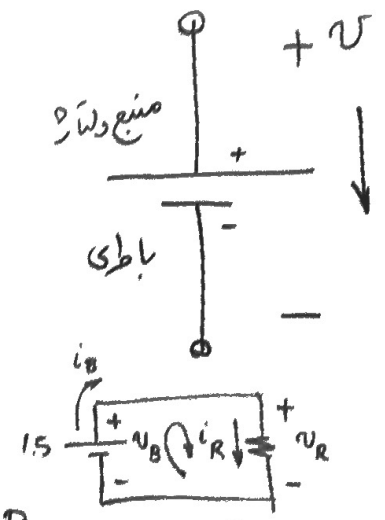
$P_{\text{منبع جریان}} = (100mA)(-100V) = -10W$

توان تولیدی منبع جریان

i منبع جریان

ولتاژ منبع جریان

تولید کننده انرژی



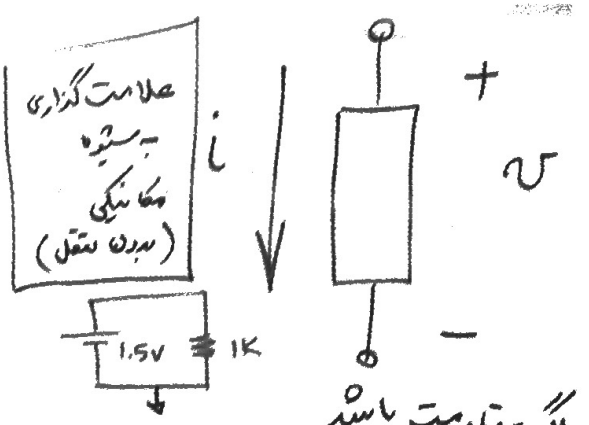
$P_B = v_B i_B$

$-2.25mW = 1.5V(-1.5mA)$

$P_R = i_R v_R$

$2.25mW = 1.5mA\ (1.5V)$

مصرف کننده انرژی



قانون اهم

توان مصرفی مقاومت

توان مصرفی

اگر مقاومت باشد

$v = R\,i$

$P = v\,i$

$1.5v\ (1.5mA) = 2.25mW$

گره و شاخه
branch Node

✓ علامت گذاری مقادیر با منابع

✓ قوانین مبنی بر حفظ توان منابع وابسته

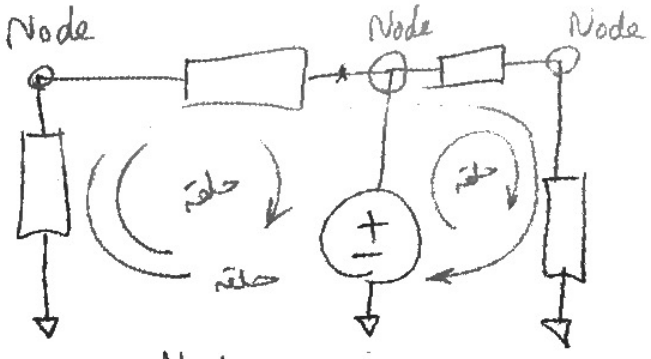
KVL
KCL

تقسیم ولتاژ و جریان

مقاومت سری و موازی

از کتاب Hayt

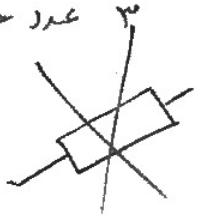
علامت زمین

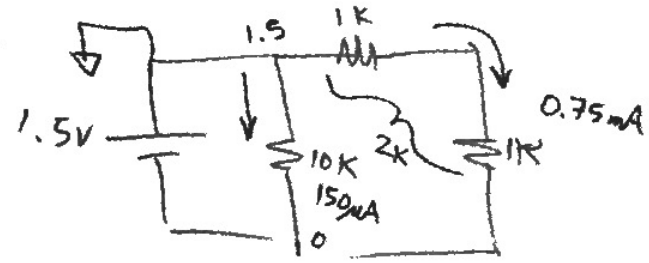


۴ عدد گره قرمز

۵ عدد شاخه مشکی

۳ عدد حلقه سبز





گره و شاخه
branch Node

✓ علامت گذاری تقطیت و منابع

✓ توان می‌توان مصرف توان

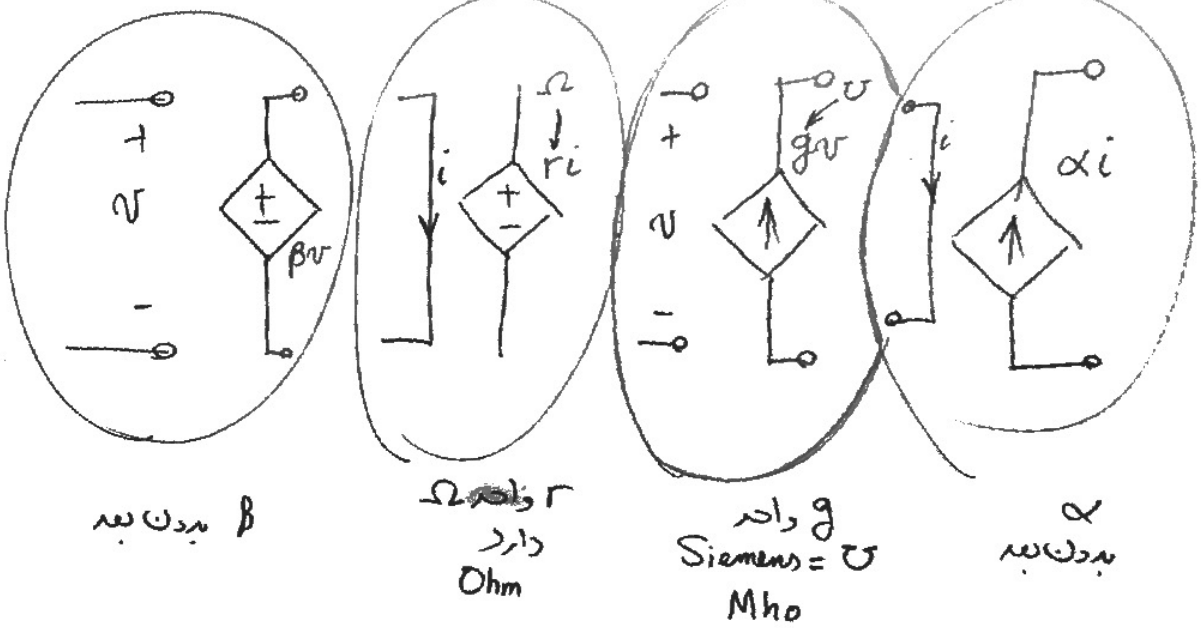
منابع وابسته

KVL
KCL

تقسیم ولتاژ و جریان

مقاومت سری و موازی

از کتاب Hayt



β بدون بعد

r و Ω دارد
Ohm

g واحد
Siemens = ℧
Mho

α
بدون بعد

فیلم اسیلوسکوپ ۲-۳ عدد را ببینید

← علامت گذاری ولتاژ و منابع

← منابع وابسته و مستقل

← KCL

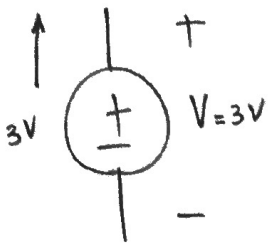
← KVL

← تقسیم کننده ولتاژ

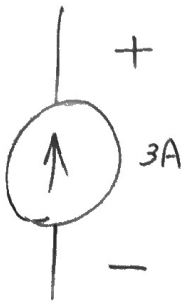
← تقسیم کننده جریان

← تحلیل حلقه Mesh analysis

← تحلیل گره Nodal analysis

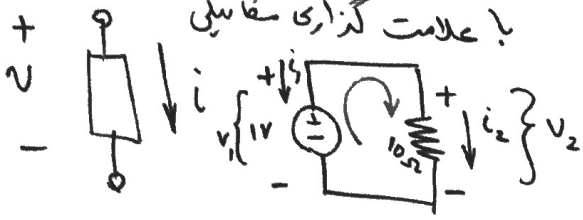


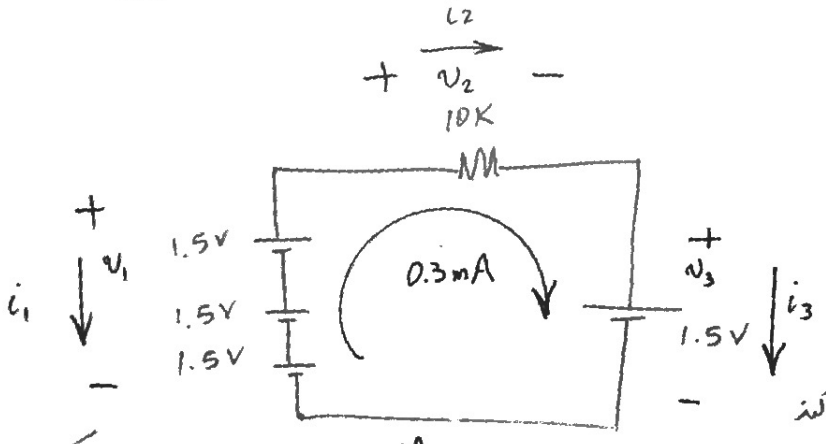
هر جریان عبوری کند



دو سر منبع جریان
هر ولتاژی می‌تواند باشد

با علامت گذاری مکانیکی





$i_1 = -0.1\,A$

$i_2 = +0.1\,A$

$v_1 = 1\,V$

$v_2 = 1\,V$

انرژی تولید می کند — منبع $P = v_1 i_1 = -0.1\,W$

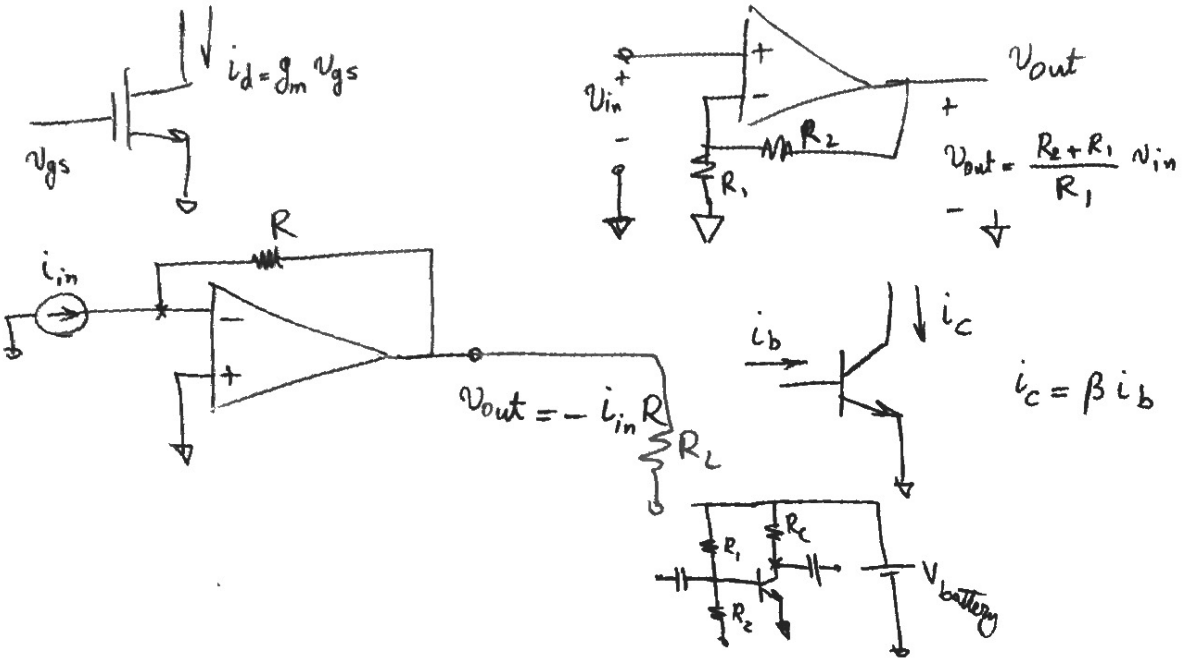
انرژی مصرف می کند — مقاومت $P = v_2 i_2 = +0.1\,W$

تولیدکننده $P_{4.5V} = 4.5V(-0.3\,mA) = -1.35\,mW$

مصرف کننده $P_{1K} = 3V(0.3\,mA) = 0.9\,mW$

مصرف کننده $P_{1.5V} = 1.5V(0.3\,mA) = 0.45\,mW$

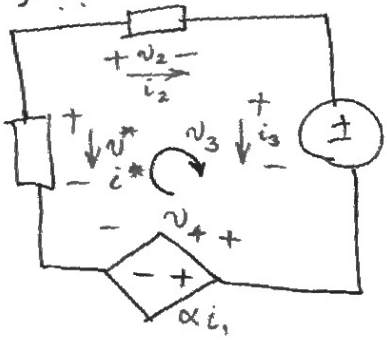
فیلم اسیلوسکوپ ۳-۲ عدد را ببینید
علامت گذاری قطعات و منابع
منابع وابسته و مستقل
KCL
KVL
تقسیم کننده ولتاژ
تقسیم کننده جریان
تحلیل حلقه
Mesh analysis
تحلیل گره
Nodal analysis
3V
V=3V
هر جریان عبوری کند
3A
دو سر منبع جریان
هر ولتاژی می تواند باشد
تقویت کننده ولتاژ
واحد ʊ
Mho
با علامت گذاری مکانیکی
12V
10Ω

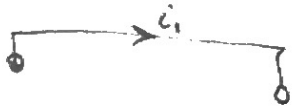

$i_d = g_m v_{gs}$
v_{gs}
v_{in}
v_{out}
R_2
R_1
$v_{out} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} v_{in}$
R
i_{in}
$v_{out} = - i_{in} R$
R_L
i_b
i_c
$i_c = \beta i_b$
R_1
R_c
R_2
$V_{battery}$

KVL

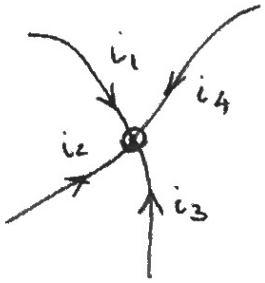
$v_2 + v_3 + v_4 - v^* = 0$

جمع جبری ولتاژهای داخل یک حلقه برابر صفر است.

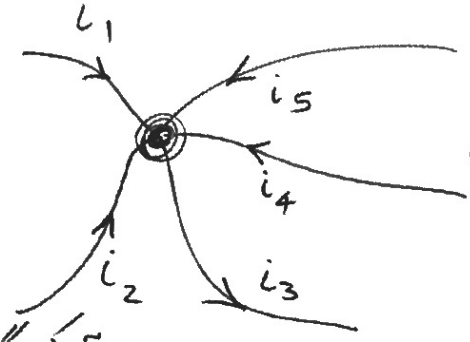




KCL



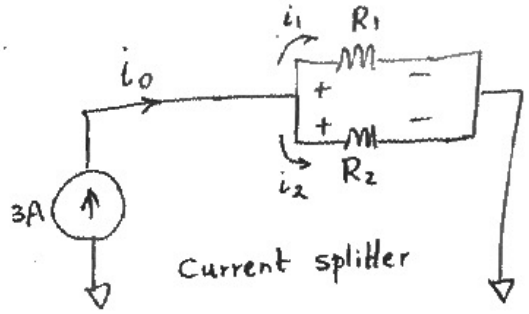
$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$



در داخل یک گره

جمع جبری جریان‌های وارد شونده به یک گره با جریان‌های خارج شونده برابر است...

$i_3 = i_1 + i_2 + i_4 + i_5$



$$\begin{cases} i_0 = i_1 + i_2 \\ i_1 R_1 = i_2 R_2 \end{cases}$$

$$i_0 = i_1 + \frac{i_1 R_1}{R_2} \Rightarrow i_1 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_0 \quad , \quad i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_0$$

مقسم‌های جریان

مقسم‌های ولتاژ

مدار معادل Norton

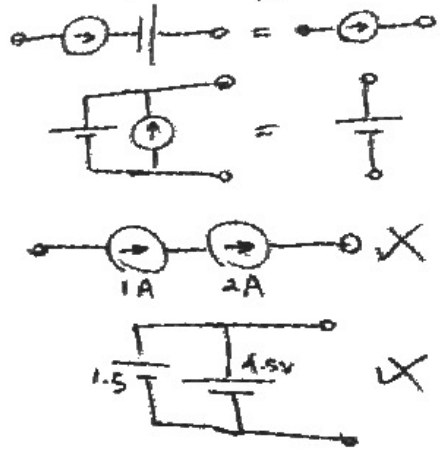
مدار معادل Thevenin

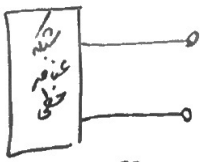
تحلیل گره

✓ KVL

✓ KCL

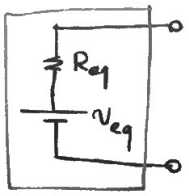
✓ ترکیب‌های منبع جریان و ولتاژ



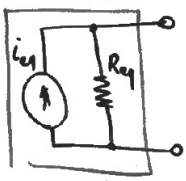


مشکل از مقاومت منابع مستقل و وابسته ثابت می‌باشد

جعبه سیاه دارای مدار معادل



Thevenin equivalent circuit



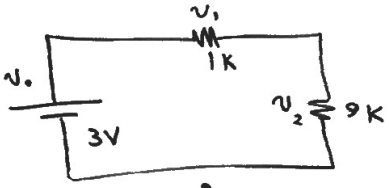
Norton equivalent circuit

$i_{eq} = v_{eq} / R_{eq}$

$$v_o = \frac{R_1 v_2}{R_2} + v_2$$

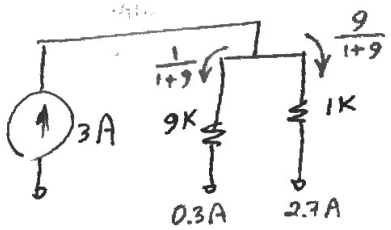
$$v_2 = \frac{v_o}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}$$

$$\begin{cases} v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o \\ v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o \end{cases}$$

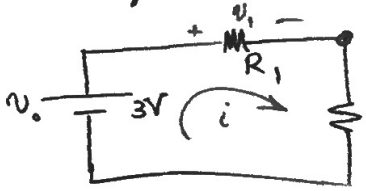


$$v_2 = 3 \frac{9}{10} = 2.7V$$

$$v_1 = 3 \frac{1}{10} = 0.3V$$

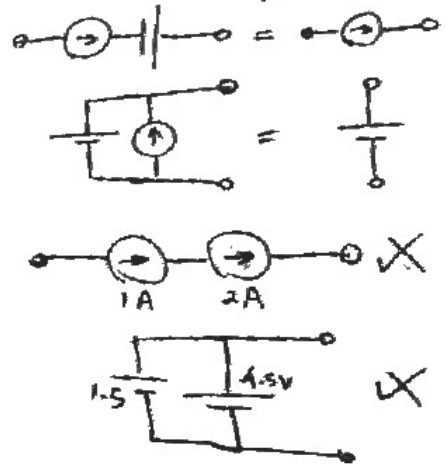


Voltage divider مقسم ولتاژ



$$\begin{cases} v_o = v_1 + v_2 & \text{KVL} \\ \frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2}{R_2} & \text{برابری جریان} \\ & \text{KCL} \end{cases}$$

✓ KVL
✓ KCL
✓ ترکیب‌های منبع جریان و ولتاژ



✓ مقسم‌های جریان
✓ مقسم‌های ولتاژ

مدار معادل Norton
مدار معادل Thevenin

تحلیل گره

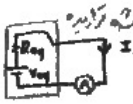
حال اگر به ما یک جعبه سیاه دادند و گفتند

مقادیر معادل Thevenin و یا Norton را پیدا کن!

- برای پیدا کردن معادل Thevenin

برای Veq یک ولتمتر دو سر جعبه سیاه بگذار Veq

برای Req یک آمپرمتر در حد اتصال کوتاه بگذار و بزن

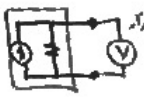


$I_{sc} = \frac{V_{eq}}{R_{eq}}$

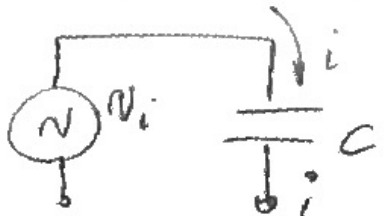
- برای پیدا کردن معادل Norton

برای ieq آمپرمتر در حد اتصال کوتاه بگذار

برای Req ولتمتر دو سر جعبه سیاه بگذار



$V = R_{eq} i_{eq}$

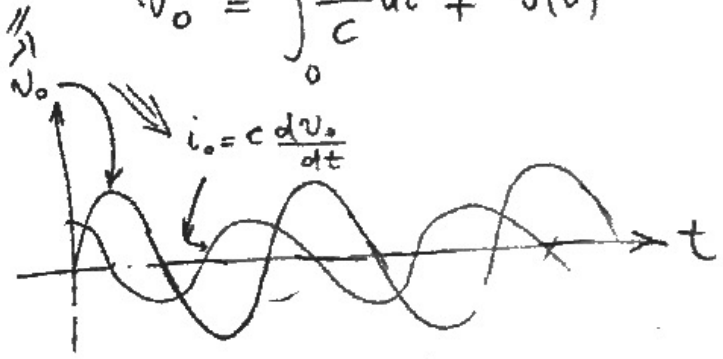


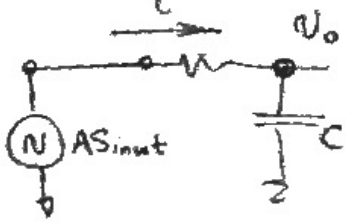
$$i = C\frac{dv_i}{dt}$$

۸/۴۴
۳۱

جریان قابل مشاهده روی اسکوپ $= \dfrac{v_{in} - v_o}{R} = i$

$$v_o = \int_0^t \frac{i}{C}dt + v(0)$$

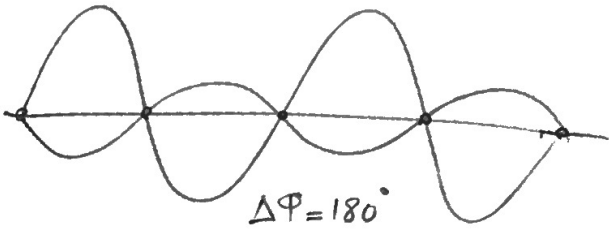


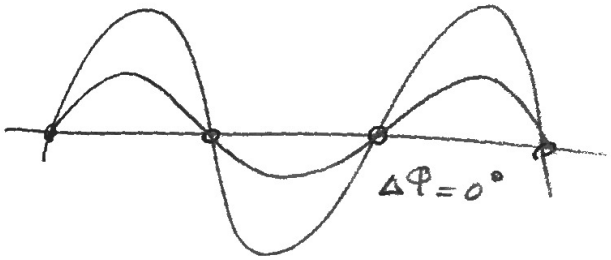


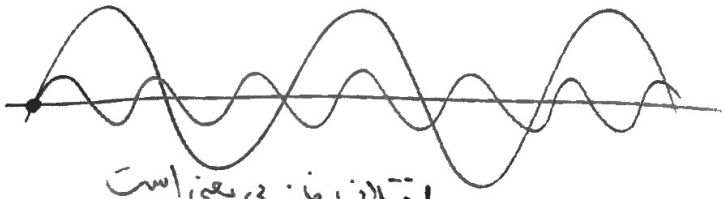
$$\frac{v_{in} - v_o}{R} = i$$

$$\boxed{i = C\frac{dv_o}{dt}}$$

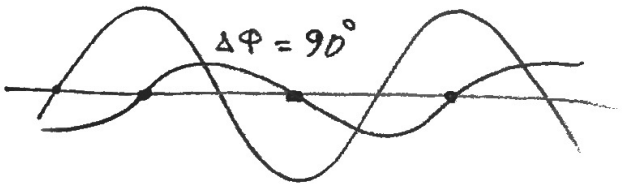
$$A\sin\omega t - v_o = RC\frac{dv_o}{dt}$$



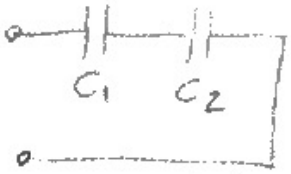




اختلاف فاز بی معنی است
چون هم فرکانس نیستند ...



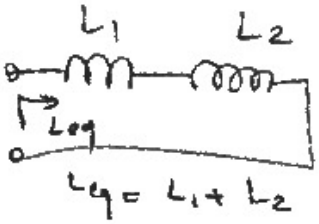
$C_{eq} = C_1 + C_2$



$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

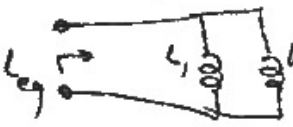
$R_{eq_1} = R_1 + R_2 + R_3$

$C_1 \| C_2 = C_1 + C_2 =$



$L_{eq} = L_1 + L_2$

$\frac{1}{R_{eq_2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$



$L_{eq} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

$R_{eq_2} = R_1 \| R_2 \| R_3 \| R_4$

KCL A:

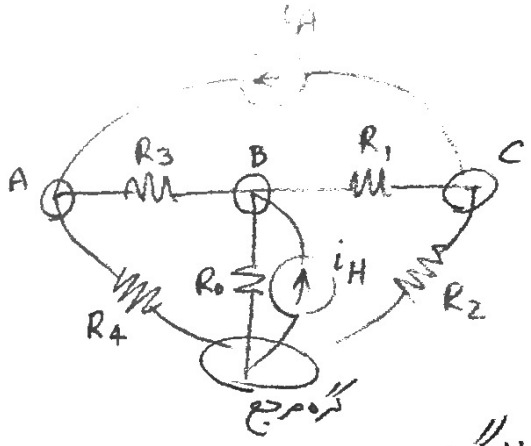
KCL B:

KCL C:

$$\begin{cases} i_A + \dfrac{v_B - v_A}{R_3} + \dfrac{-v_A}{R_4} = 0 \\ \dfrac{v_A - v_B}{R_3} + \dfrac{-v_B}{R_0} + i_H + \dfrac{v_C - v_B}{R_1} = 0 \\ \dfrac{-v_C}{R_2} + \dfrac{v_B - v_C}{R_1} - i_A = 0 \end{cases}$$

منظور از حل چیست؟ می خواهیم مقادیر v_A v_B v_C را بدست آوریم

$$\begin{cases} \dfrac{-v_A}{R_3 \| R_4} + \dfrac{v_B}{R_3} = -i_A \\ \dfrac{v_A}{R_3} - \dfrac{v_B}{R_3 \| R_0 \| R_1} + \dfrac{v_C}{R_1} = -i_H \\ + \dfrac{v_B}{R_1} - \dfrac{v_C}{R_1 \| R_2} = i_A \end{cases}$$



N گره

معادله می نویسیم N-1 ...

KCL A:

$$i_A + \frac{v_B - v_A}{R_3} + \frac{-v_A}{R_4} = 0$$

KCL B:

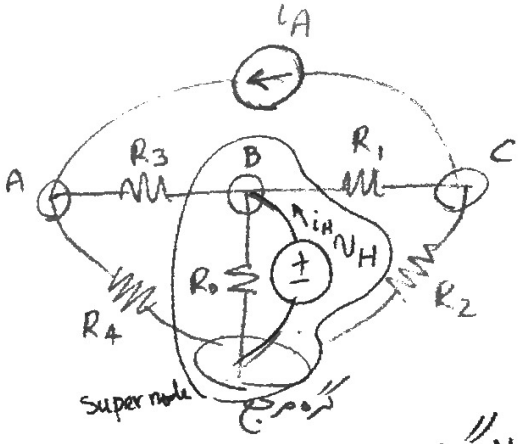
$$v_B = v_H$$

KCL C:

$$\frac{-v_C}{R_2} + \frac{v_B - v_C}{R_1} - i_A = 0$$

منظور از حل چیست؟ می خواهیم متغیر v_C v_B v_A را بدست آوریم

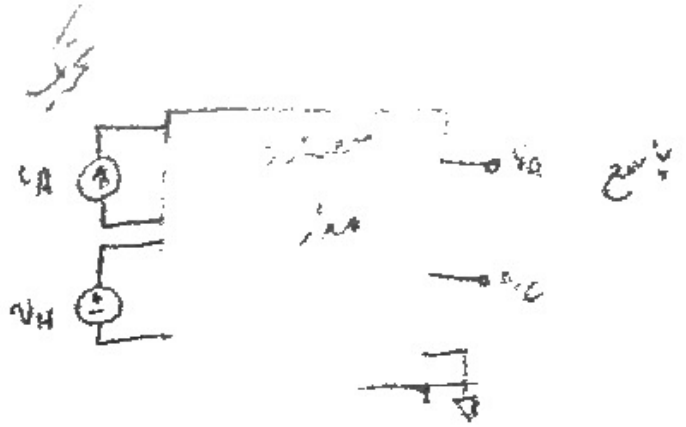
$$\begin{cases} \frac{-v_A}{R_3 \| R_4} + \frac{v_B}{R_3} = -i_A \\ v_B = v_H \\ + \frac{v_B}{R_1} - \frac{v_C}{R_1 \| R_2} = i_A \end{cases}$$



N گره
N-1 معادله می نویسیم...

در معادله [ ]

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_3 \| R_4} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_1 \| R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -I_A - \frac{V_H}{R_3} \\ I_A - \frac{V_H}{R_1} \end{bmatrix}$$



انسان با هوشمندی معادلات را دسته‌بندی و حل می‌کند
کامپیوتر با روش ماتریسی ساخته و
حل برای V_A ، V_C

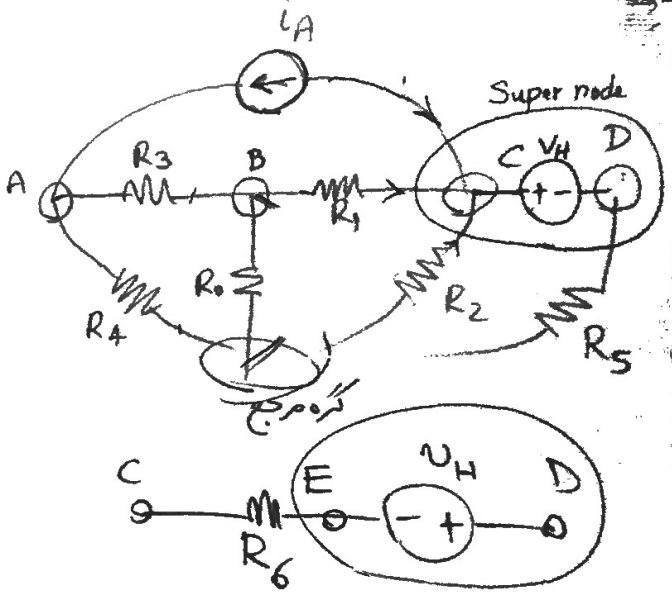
$$[A][V_{\text{گره‌ها}}] = [\text{جریان‌ها و ولتاژ‌ها}] \Rightarrow [V_{\text{گره‌ها}}] = [A]^{-1}[\text{جریان‌ها}]$$

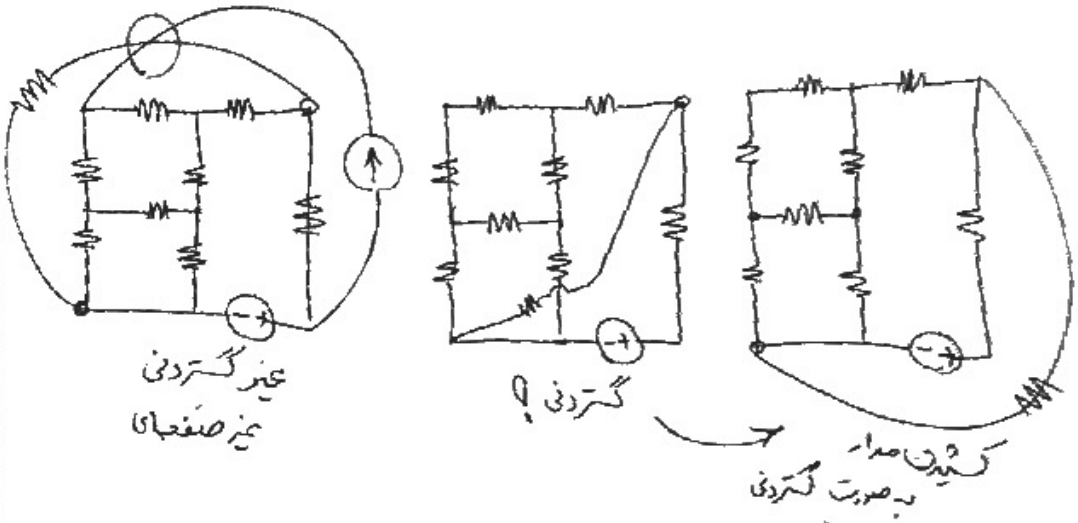
Ⓐ $i_A + \frac{v_B - v_A}{R_3} - \frac{v_A}{R_4} = 0$

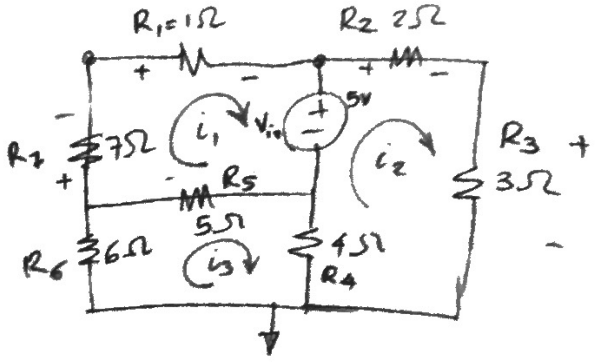
Ⓑ $\frac{v_A - v_B}{R_3} + \frac{v_C - v_B}{R_1} - \frac{v_B}{R_0}$

Super node $- i_A - \frac{v_C}{R_2} - \frac{v_D}{R_5} + \frac{v_B - v_C}{R_1} = 0$

$\boxed{v_C - v_D = v_H}$




غیر گستردنی
نیمه صفحه‌ای
گستردنی؟
کشیدن صدا
به صورت گستردنی



i_1 → KVL : $R_1 i_1 + V_{in} + R_5(i_1 - i_3) + R_7 i_1 = 0$

i_2 → KVL : $-V_{in} + R_2 i_2 + R_3 i_2 + R_4(i_2 - i_3) = 0$

i_3 → KVL : $R_6 i_3 + R_5(i_3 - i_1) + R_4(i_3 - i_2) = 0$

$$(R_1 + R_5 + R_7) i_1 - R_5 i_3 = -V_{in}$$

$$(R_2 + R_3 + R_4) i_2 - R_4 i_3 = V_{in}$$

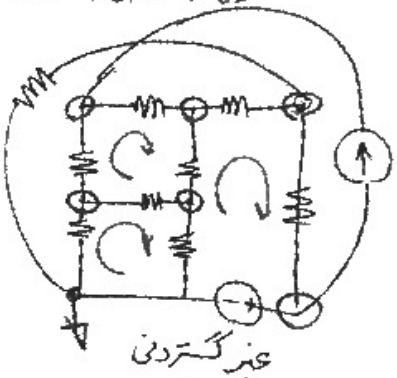
$$-R_5 i_1 - R_4 i_2 + (R_6 + R_5 + R_4) i_3 = 0$$

$$\begin{bmatrix} R_1+R_5+R_7 & 0 & -R_5 \\ 0 & R_2+R_3+R_4 & -R_4 \\ -R_5 & -R_4 & R_6+R_5+R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V_{in} \\ V_{in} \\ 0 \end{bmatrix}$$

در این مدار تحلیل

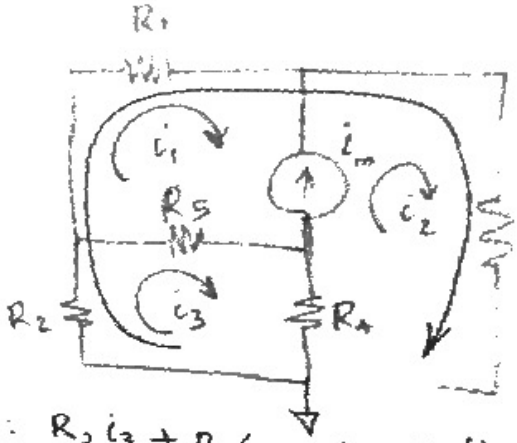
سلقه تحلیلی سیت ؟

فقط تحلیل گره مشترکی است !



غیر گسترده

غیر صفحه‌ای

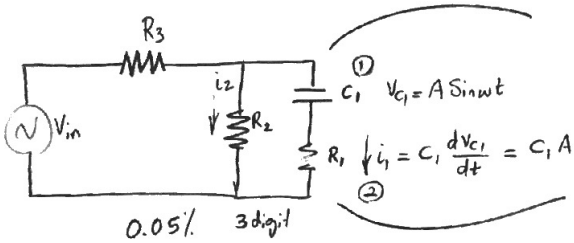


i_1 KVL: $R_1 i_1 + ?$ گیر کردیم

i_3 KVL: $R_2 i_3 + R_5(i_3 - i_1) + R_4(i_3 - i_2)$

i_{in} برای KCL $\quad i_{in} = i_2 - i_1$

KVL در حلقه مشکی $\quad R_2 i_3 + R_1 i_1 + R_3 i_2 = 0$



① $V_{C_1} = A\sin\omega t$

② $i_1 = C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} = C_1 A\omega\cos\omega t$

③ $V_{R_1} = i_1 R_1$

④ $V_{R_2} = V_{C_1} + V_{R_1}$

$A\sin\omega t + i_1 R_1$

⑤ $i_2 = \frac{V_{R_2}}{R_2}$

⑥ $V_{R_3} = R_3(i_1 + i_2)$

⑦ $V_{in} = V_{R_3} + V_{R_2}$

⑧ $V_{in} = (\ ?\ )\sin(\omega t + (??))$

⑨ $\frac{V_{R_2}}{V_{in}} = \frac{[\ 0\ ]\sin(\omega t + [00])}{(\ ?\ )\sin(\omega t + (??))}$

$dB = 20\log\left|\frac{V_{R_2}}{V_{in}}\right|$

$20\log\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$

$20\log\left(\frac{R_1 \| R_2}{R_3 + R_1 \| R_2}\right)$

$20\log\left|\frac{1}{?}\right|$

$\log f$

اختلاف فاز $0°$ $0°$ $-20-30°$ $[00]-[??]$

$\log f$

0.05% 3 digit

20 10mV

1.673

2V → 0.05×2

0.05% rdg + 2 dgt

20 100mV 20mV

0.05×10V

19.00

20

11.00 0.05 5.5mV

19.99

11.03

10.97

35.5

در تحلیل گره

مدار N گره دارد

باید N-1 معادله مستقل KCL داشته باشیم

در تحلیل حلقه

اگر مدار M حلقه داشته باشد

باید M معادله مستقل KVL داشته باشیم ...

← رابطه‌ای بین تعداد حلقه‌ها و گره‌ها نداریم

← آنالیز گره روی هر مداری قابل پیاده‌سازی است

آنالیز حلقه فقط روی مدارات مسطح (گسترده‌نی) قابل اجرا است.

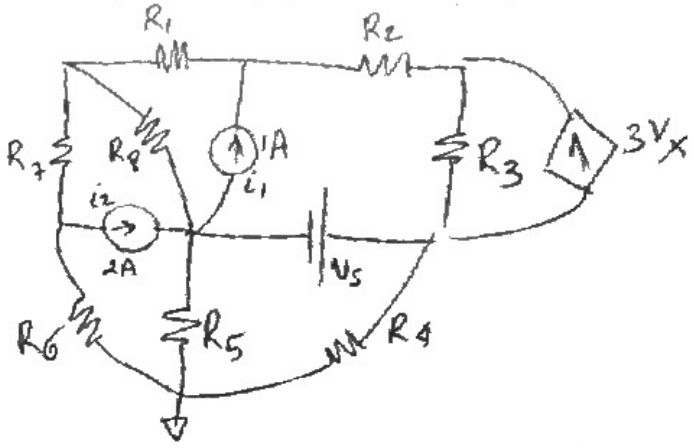
← در آنالیز گره وجود منابع ولتاژ وابسته یا مستقل وضعیت یک گره را روشن می‌کند ← (تعداد معادلات ملی کمتر می‌شود)

← در آنالیز حلقه وجود منابع جریان مستقل یا وابسته تعداد معادلات را به همان عدد کم می‌کند

← معمولاً از روشی که منجر به تعداد کمتری معادله گردد می‌توانیم استفاده کنیم

← PSpice برای تحلیل از آنالیز گره استفاده می‌کند

مثال ۲ تحلیل ۱۱



با نگاه مداری ورودی های سیستم
i_1 ، i_2 و V_S

مثال

$$\begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ i_2 \\ \frac{v_5}{R_4} + i_2 \end{bmatrix}$$

ماتریس 6×6

با نگاه ماتریسی

مجهولات $v_1 \dots v_6$

و ورودی ها i_1 و i_2 و V_S

جمع آثار

بواسطه سیستم خطی

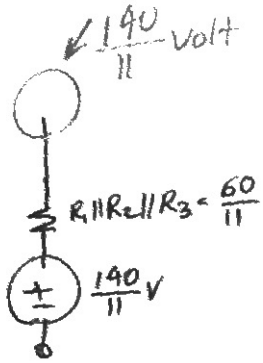
$$\begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ i_2 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{V_S}{R_4} \end{bmatrix}$$

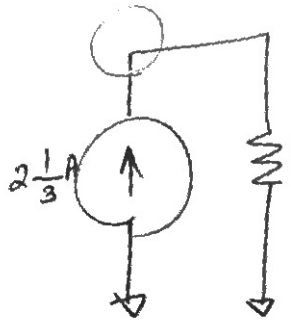
$$V_{1\,\text{کل}} = V_{1\,\text{ورودی } i_1} + V_{1\,\text{ورودی } i_2} + V_{1\,\text{ورودی } V_3}$$

$$V_{6\,\text{کل}} = V_{6\,\text{ورودی } i_1} + V_{6\,\text{ورودی } i_2} + V_{6\,\text{ورودی } V_3}$$

استفاده مداری!

* در مدار منابع را تک تک اثر بده
* منابع جریان را صفر کن (open) و منابع ولتاژ را صفر کن (short)
* یک منبع را نگه دار و با آن مسأله را حل کن
* دنبه منبع دیگر
* جواب را با هم جمع کن
* منابع جریان و ولتاژ وابسته کاری نداشته باش



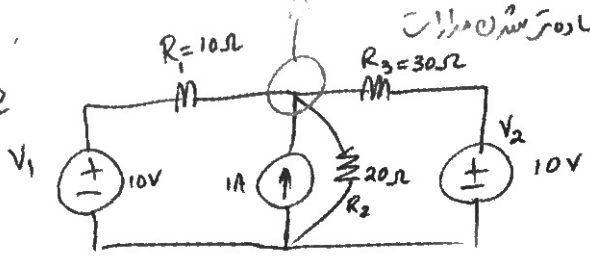


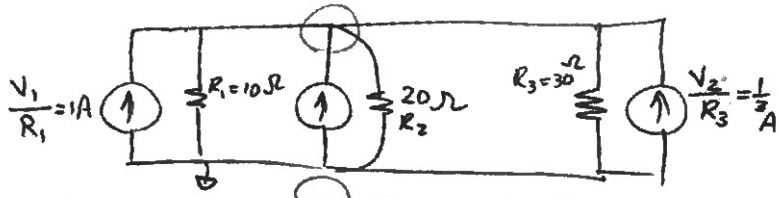
$$\frac{60}{11} \times \left(2 + \frac{1}{3}\right)$$

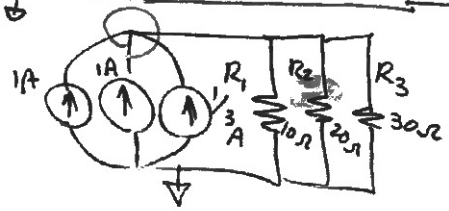
$$\frac{30 \times 20}{50} = \frac{600}{50}$$

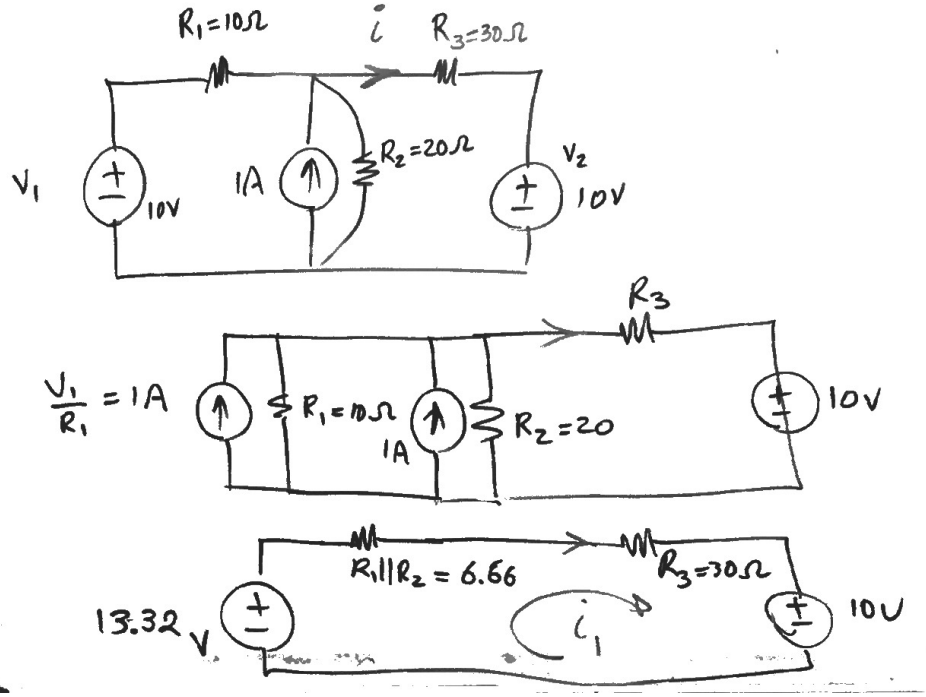
$$\frac{10\,(12)}{22} = \frac{120}{22} = \frac{60}{11}$$

معادل تونن نورتون
برای ساده‌تر شدن مدارات









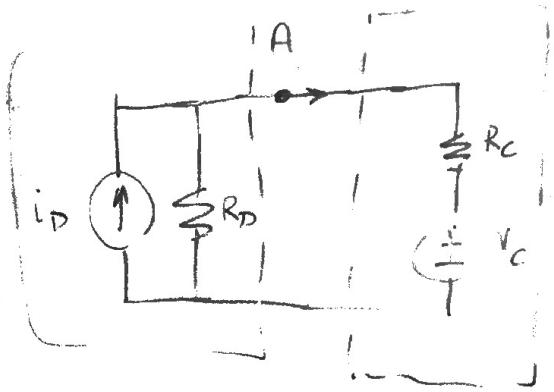
$$13.32 - 10 + (R_1 \| R_2)\, i_1 + R_3 i_1 = 0$$

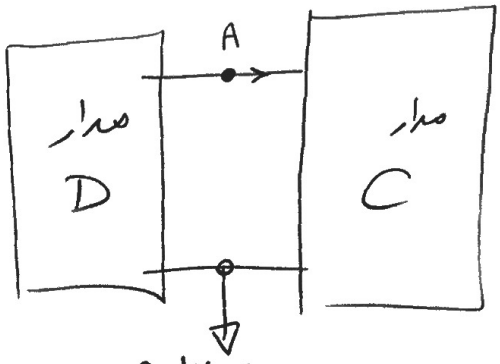
$$3.32 + (6.66\,\Omega + 30\Omega)\, i_1 = 0$$

$$i_1 = -\frac{3.32\ V}{36.6\,\Omega}$$

حفاظ
آزمایشگاه
بازگشت گزارش‌ها

معمولا





برای من و تو فقط A

و یا جریانی که در سیم رابط بین دو جعبه

مدار وجود دارد جالب است...

خطای
آزمایشگاه
بازگشت تراشه‌ها

معادل تونن نورتون
برای ساده‌تر شدن مدارات

برای معادل Thevenin

$V_{OC} = V_C$

$I_{SC} = \frac{V_C}{R_C}$

برای تونن

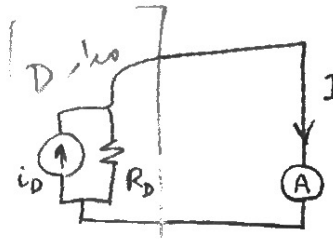
$V_C = V_{OC}$

$R_C = \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$

Open circuit = OC

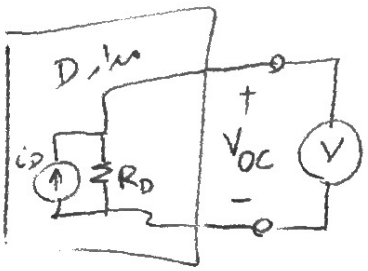
Short circuit = SC

اتصال کوتاه



$I_{SC} = i_D$

چه کنم که با اندازه‌گیری
مدار معادل جعبه D
را بدست آورم...



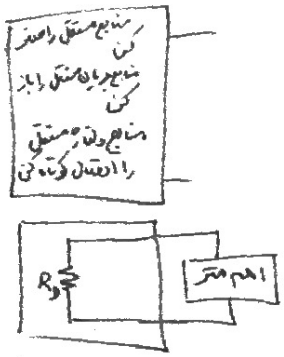
$V_{OC} = R_D i_D$

پس با دو اندازه‌گیری

$R_D = \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$

$i_D = I_{SC}$

حالا اگر در داخل جعبه به منابع مستقل دسترسی داشته باشیم

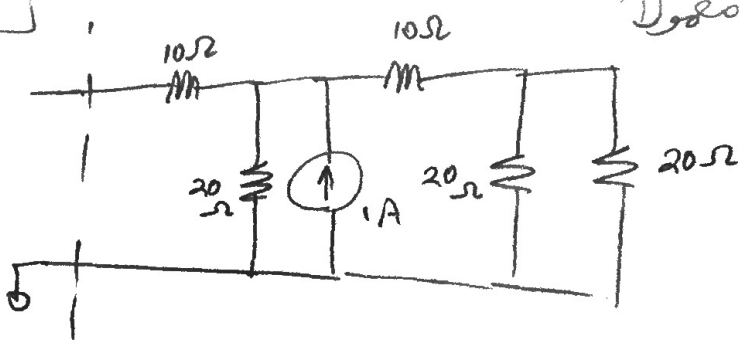


مقاومت R_D را خواهیم خواند...

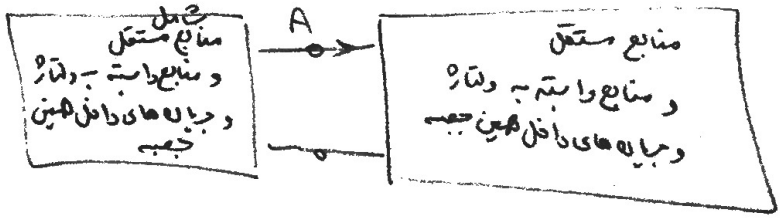
V_{OC} = اندازه‌گیری با ولت‌متر

I_{SC} = اندازه‌گیری با آمپرمتر

معمولاً



$R_{eq} = 20\Omega$
Th/Norton



خطای آزمایشگاه بازگشت گزارش‌ها