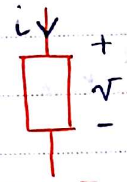
المان های الکتریکی

مقاومت (R) ← ولتاژ آن در هر لحظه تابعی از جریان آن در همان لحظه است

کنترل شده با جریان

$v(t) = RI(t)$ → حالت خاصی از مقاومت

$v(t) = \log(I(t))$



→ همه‌ی المان ها جز منابع ولتاژ و جریان

TIV (Time Invarient) تغییر ناپذیر با زمان

L (Linear) خطی ← باید از مبدأ بگذره

TV (Time Varient) تغییر پذیر با زمان

NL (NonLinear) غیر خطی

① LTI ← $V = RI$ $\quad v(t) = RI(t)$

② LTV ← $v(t) = \left(\log t,\ t^2,\ 2t\right) I(t)$

③ NLTI ← $v(t) = i^2(t) \ldots \log i(t) \ldots$ دیود

④ NLTV ← $v(t) = (2t+1)\, i^2(t)$ → $R(t) = (2t+1)\, 2i(t)$

★ در حالت های غیرایده آل در شرایط واقعی این حالت برقراره

← مقاومت حافظه ندارد ← مقدارش در هر لحظه تعیین میشود.

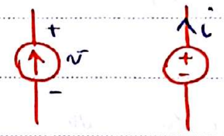
$$\boxed{R(t) = \frac{\partial v(t)}{\partial i(t)}}$$

منابع

- منبع ولتاژ (NLTI)
  - مستقل ← ثابت (3)
  - وابسته ← تابعی است از ولتاژ و جریان شاخه دیگر مدار ($2i_x$)
- منبع جریان
  - مستقل ← ثابت ($2A$)
  - وابسته ← تابعی از ولتاژ و جریان شاخه دیگر مدار (v_x^2)

← منبع ولتاژ، عنصری است که ولتاژ دو سر آن تابع جریان عبوری آن نیست.

← منبع جریان، عنصری است که جریان عبوری از آن تابع ولتاژ دو سر آن نیست.

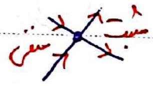


← در منابع جریان از سر مثبت خارج می‌شود.

← در بقیه المان‌ها جریان از سر مثبت وارد می‌شود.

← یک منبع مستقل

KCL ← قانون جریان کیرشهف ← مجموع جبری جریان‌های ورودی / خروجی در هر گره مدار، صفر است. قرارداد: مثبت، منفی



← از قانون بقای بار می‌آید.

$\Sigma I = 0$

* انشتا ← آتش!

← KVL و KCL در مدارات فشرده صادق هستند. (lumped)

KVL ← قانون ولتاژ کیرشهف ← جمع جبری ولتاژ شاخه‌ها در یک حلقه صفر است.

← از قانون بقای انرژی می‌آید

$\Sigma V = 0$

* اگر مدار n گره دارد، (n-1) معادله‌ی مستقل KCL بدست می‌آید چون یکی از معادله‌ها جمع تمام n-1 معادله‌ی دیگر خواهد بود.

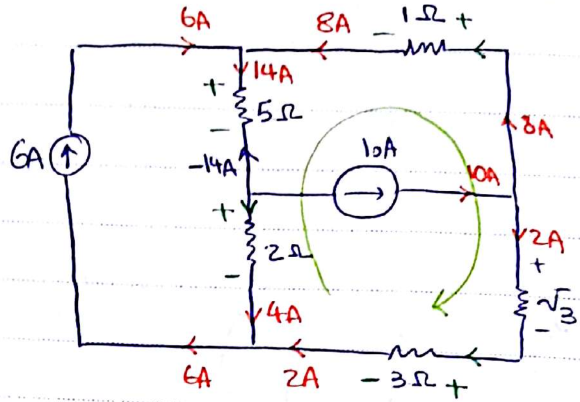
* قانون KVL را فقط برای حلقه کوچک‌ها می‌نویسیم که اسمشان مش است.

مش ← حلقه‌ای است که درون آن‌ها شاخه‌ای وجود ندارد.

KCL → تعداد گره‌ها ـ ۱

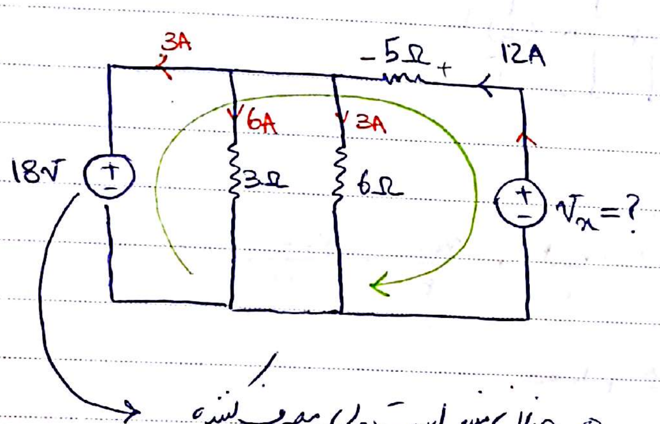
KVL → تعداد مش‌ها

Subject:
Year. Month. Date. ( )



$$-8V - 70V - 8V + V_3 + 6V = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_3 = 80V}$$



$$-18V - 60V + V_x = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_x = 78V}$$

هم جریان منبع است ولی مصرف کننده انرژی است.

← اگر جریان رو بر اساس تابعی از ولتاژ بیان کنیم ← مقاومت کنترل شده با ولتاژ

← الزاما همیشه تابعش معکوس پذیر نیست.

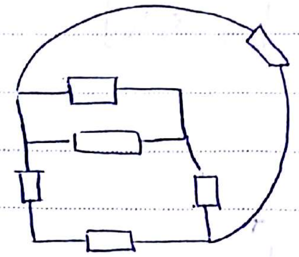
← هر چیزی با منبع ولتاژ موازی ببنده ← حاصل همون منبع ولتاژه

← هر چیزی با منبع جریان سری ببنده ← حاصل همون منبع جریانه.

گره ← KCL

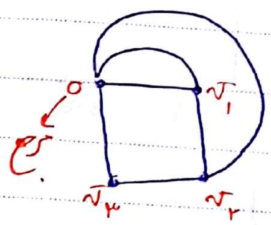
تحلیل مدار

مش ← KVL



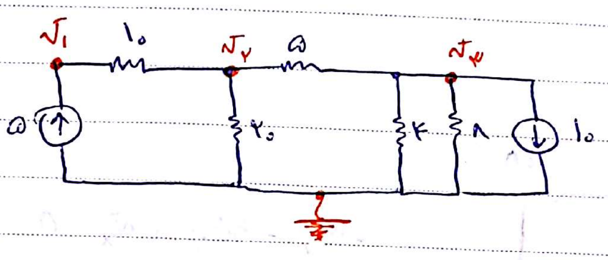
گراف معادل

مدار الکتریکی



← KCL

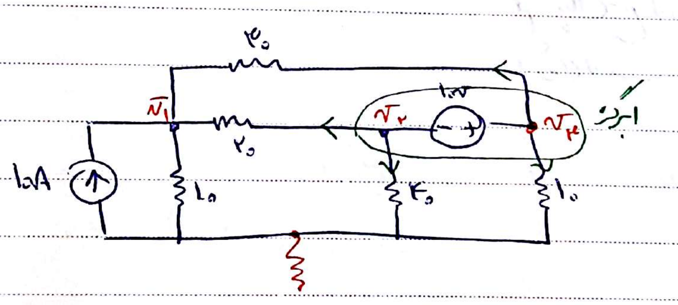
گره با درجه بالاتر ← مرجع (برای ساده شدن معادلات) ←



(I) $-5 + \frac{v_1 - v_2}{10} = 0$

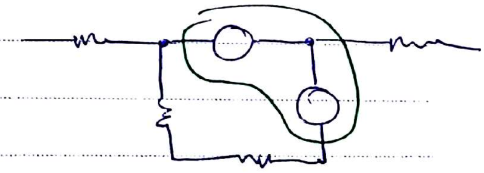
(II) $\frac{v_2 - v_1}{10} + \frac{v_2 - 0}{20} + \frac{v_2 - v_3}{5} = 0$

(III) $\frac{v_3 - v_2}{5} + \frac{v_3 - 0}{4} + \frac{v_3 - 0}{8} + 10 = 0$

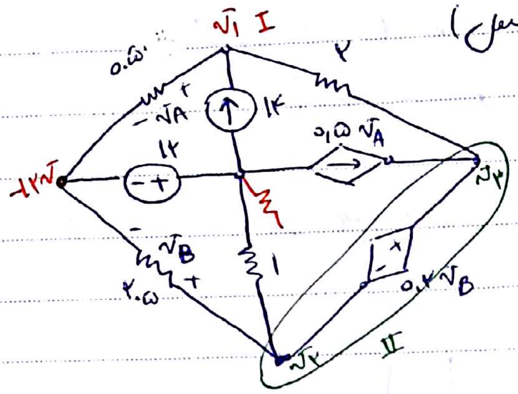


(I) $-10 + \frac{v_1 - 0}{10} + \frac{v_1 - v_2}{20} + \frac{v_1 - v_3}{30} = 0$

(II) $\frac{v_2 - v_1}{20} + \frac{v_2}{40} + \frac{v_3}{10} + \frac{v_3 - v_1}{30} = 0$



$v_3 - v_2 = 100v$

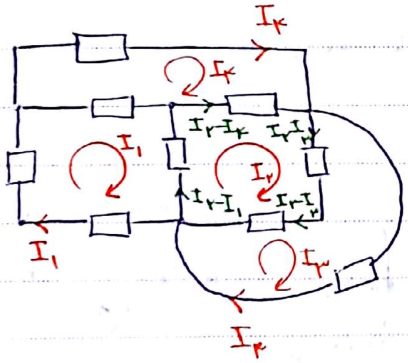


← در روش KCl، به تعداد منابع ولتاژ (وابسته/مستقل)
از معادلات KCL کم خواهد شد:
تعداد منابع ولتاژ − ۱ − n

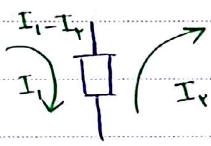
$$\text{I}\quad \frac{v_1+12}{0.5} - 14 + \frac{v_1 - v_3}{2} = 0 \qquad \text{II}\quad \frac{v_2+12}{2.5} + \frac{v_2}{1} - 0.5\overbrace{v_A}^{(v_1+12)} + \frac{v_3 - v_1}{2} = 0$$

$$v_3 - v_2 = 0.2\underbrace{v_B}_{(v_2+12)} \longrightarrow v_3 = 1.2 v_2 + 12$$

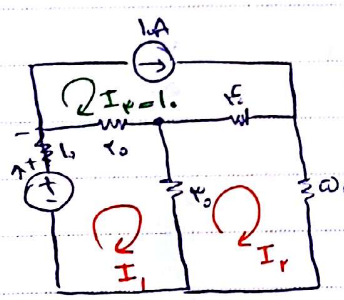
$$v_A = v_1 + 12$$



← KVL



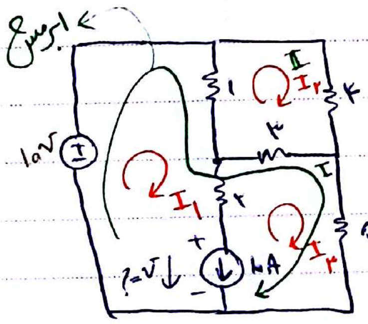
جریان حلقه‌ها مشترک است.



$$\text{I}\quad -10 + 10 I_1 + 20(I_1 - I_3) + 30(I_1 - I_2) = 0$$

$$\text{II}\quad 30(I_2 - I_1) + 40(I_2 - I_3) + 50 I_2 = 0$$

$$I_3 = 10A$$



$$\text{I}\quad -10v + 1(I_1 - I_3) + 3(I_3 - I_2) + 5 I_2 = 0$$

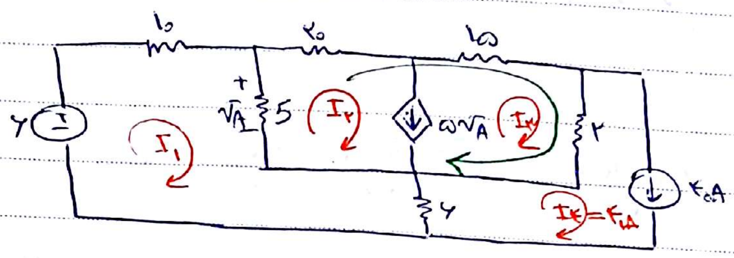
$$\text{II}\quad 1(I_3 - I_1) + 4 I_3 + 3(I_3 - I_2) = 0$$

$$I_1 - I_2 = 10A$$

ابرگره ← مجموعه گره‌هایی که با منبع ولتاژ به هم وصل اند.

ابرمش ← مجموعه مش‌هایی که با منبع جریان به هم وصل اند.

KVL ← تعداد منابع جریان − تعداد مش



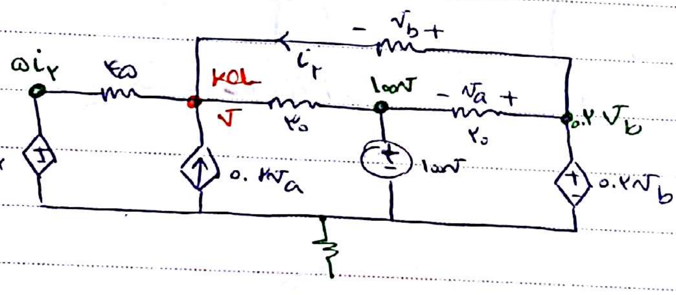
I: $-6 + 10I_1 + 5(I_1 - I_2) + 6(I_1 - I_4) = 0$

II: $5(I_2 - I_1) + 20I_2 + 15I_3 + 2(I_3 - I_4) = 0$

$I_2 - I_3 = 5V_A = 5(5(I_1 - I_2))$

$\longrightarrow I_3 = 26I_2 - 25I_1$

$I_4 = 4.5A$



KVL ۴ حلقه $- 1 = 3$

KCL ۴ گره $- 3 = 1$

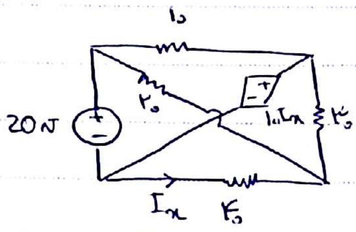
(ابرگره)

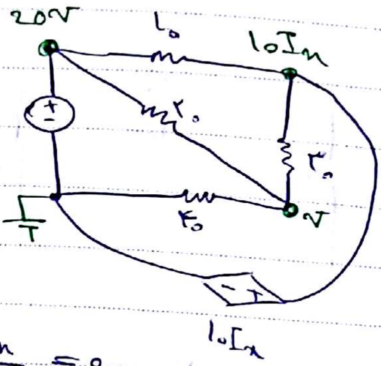
$$\text{KCL}: \frac{v - 5i_2}{45} - 0.02v_a + \frac{v - 100}{30} + \frac{v - 0.2v_b}{50} = 0$$

$$i_2 = \frac{0.2v_b - v}{50}$$

$$v_b = 0.2v_b - v$$

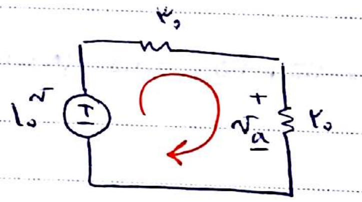
$$v_a = 0.2v_b - 100$$



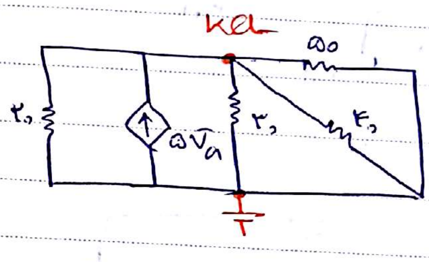


$$\frac{V}{40}+\frac{V-20V}{20\Omega}+\frac{V-10I_x}{30}=0$$

$$I_x=\frac{0-V}{40}=\frac{-V}{40}$$



$$V_a=\frac{20}{40}\times 10V$$



$$\frac{V}{20}-5V_a+\frac{V}{30}+\frac{V}{40}+\frac{V}{50}=0$$

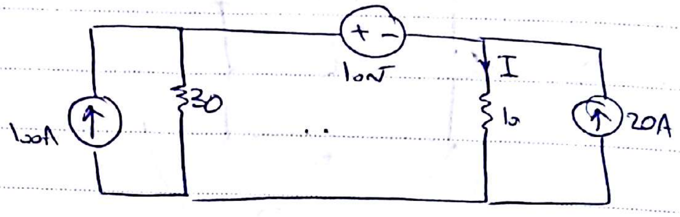
اصل برهم نهی ← می‌توانیم منابع مستقل (ولتاژ/جریان) مدار را به صورت تک تک به مدار اعمال کرده و ولتاژ/جریان های مدار را به دست آوریم، سپس مجموع این ولتاژ/جریان ها = ولتاژ/جریان اصلی مدار را تشکیل می‌دهند. ← فقط در مدارات خطی برقرار است.

صفر کردن منبع جریان ← مدار باز $I=0$

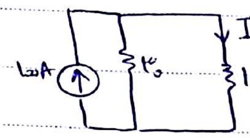
صفر کردن منبع ولتاژ ← اتصال کوتاه $V=0$

← همه‌ی المان های مدار باید خطی باشند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

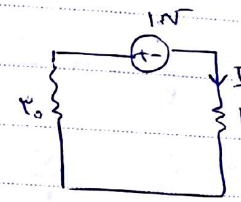


مدار I:



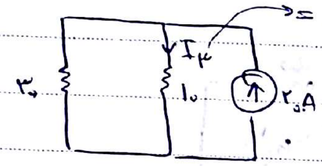
$$I_1=\frac{30}{30+10}\times 100 = 75A$$

مدار II:



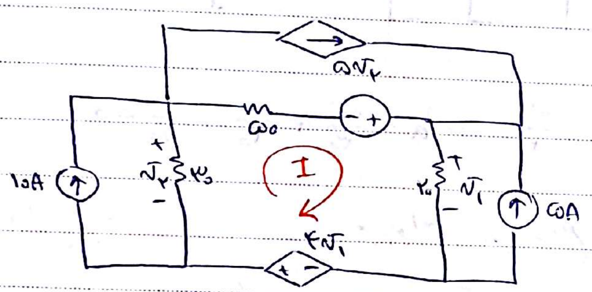
$$I_2=\frac{-10V}{40\Omega}=-0.25A$$

مدار III:



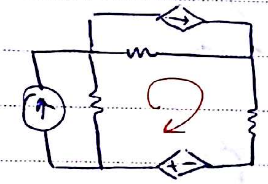
$$I_3 = 20A \times \frac{30}{30+10} = 15A$$

$$I = 75+15-0.25 = \boxed{89.75\,A}$$

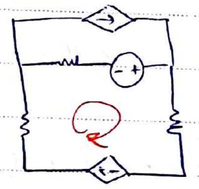


$$30(I-10)+50(I-5V_2)+20$$
$$+20(I+5)-4V_1=0$$
$$V_2 = 30(10-I)$$
$$V_1 = 20(I+5)$$

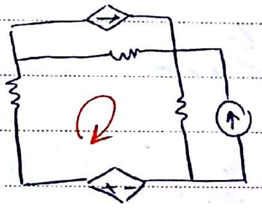
①:



②:



③:



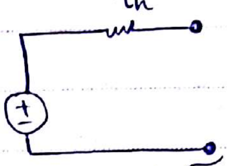
← باید دقت کنیم که استفاده از اصل جمع آثار معادلات را آسان تر می‌کند. این جا پیچیدگی مدار را کاهش نداد.

منابع (مستقل) صفر ← مقاومت معادل

R_{th}

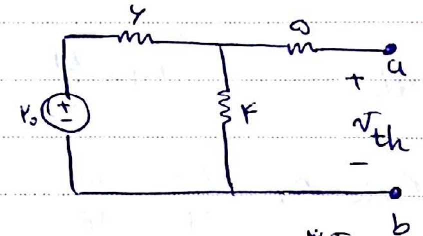
مدار معادل تونن ←

ولتاژ مدار باز ← منابع V ← V_{th}



ولتاژ تونن ← ولتاژ دو سری که از آنها داریم مدار را نگاه می‌کنیم در مدار اصلی.

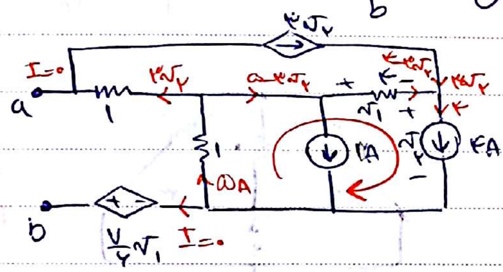
مقاومت تونن ← مقاومتی است که پس از صفر کردن تمامی منابع مستقل مدار، از دو سر مذکور دیده می‌شود.



$V_{th} = \frac{4}{10} \times 20 = 8 (V)$

مدار معادل تونن

$R_{th} = (6 \| 4) + 5 = 7.4 (\Omega)$



$5\times 1 + 4(4-3V_2) + V_2 = 0$

$V_2 = \frac{21}{11}$

$V_1 = 4(4-3\cdot\frac{21}{11})$

$R_{th} = 1\Omega$

?

$V_{th} = -\frac{7}{4}V_1 - 5 - 3V_2 \cdot 1$

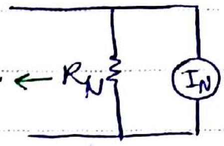
← برای محاسبه‌ی V_{th} ← اتصال باز در نظر می‌گیریم

← برای محاسبه R_{th} ← منابع مستقل را خاموش می‌کنیم ولی برای اون شاخه جریان را که فرض در نظر می‌گیریم

← اگر یک مدار منبع مستقل نباشد ← $V_{th} = 0$ ← اون مدار مثل مقاومت رفتار می‌کند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مدار معادل نورتن ←

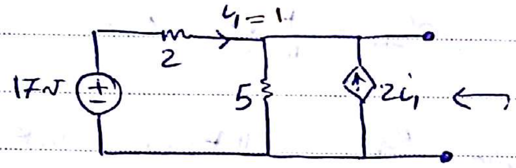


مقاومت معادل ← منابع مستقل صفر ← R_N

I_N → جریان اتصال کوتاه ← منابع ✓

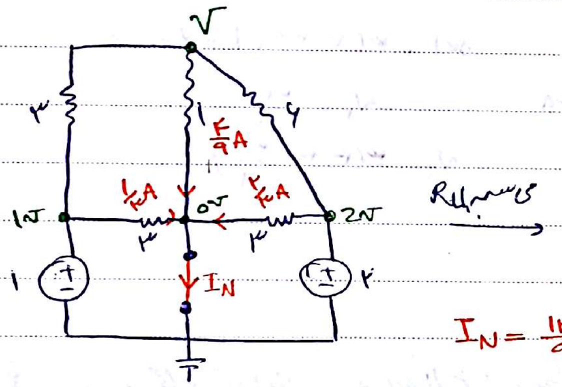
$$\boxed{R_N = R_{th}}$$

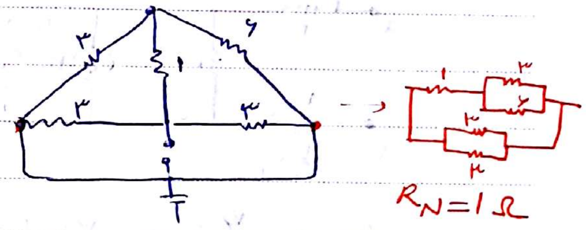
$$\nu_{th} = \underbrace{R_{th}}_{R_N} \cdot I_N \qquad R_{th} = R_N$$



$\nu_{th} = 15\nu$ ✓ $\qquad i_N = \frac{51}{2}$ ✓

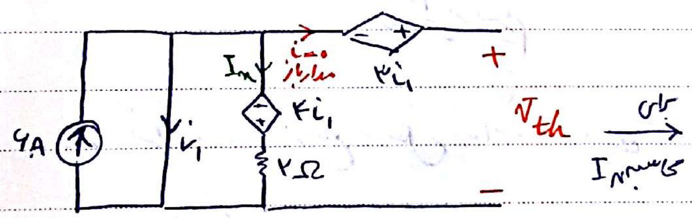
$$R_{th} = R_N = \frac{30}{51} = \frac{10}{17}$$

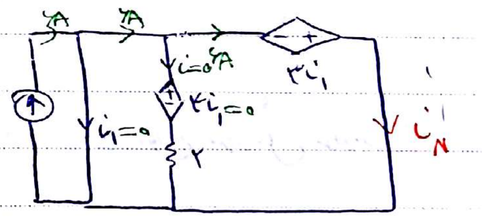




$$I_N = \frac{۱۳}{۹}A$$

$$\frac{\nu-1}{3} + \frac{\nu-0}{1} + \frac{\nu-2}{6} = 0 \longrightarrow \nu = \frac{4}{9}$$



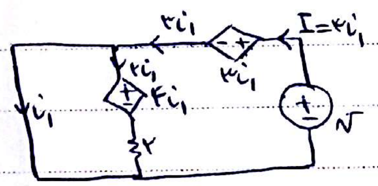


$$-4i_1 + 2I_x = 0 \longrightarrow I_x = 2i_1$$

$$3i_1 = 0 \longrightarrow i_1 = 0$$

$$6A = 3i_1 \rightarrow i_1 = 2A$$

$$\nu_{th} = 3i_1 = 6\nu \qquad i_N = 6A$$

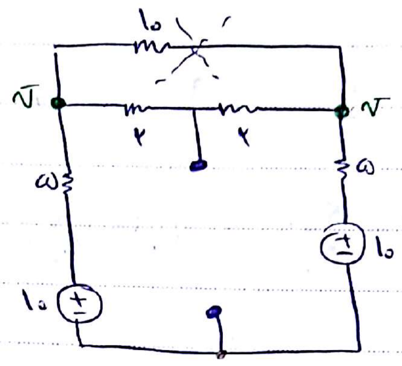


$$R_{th} = R_N = \frac{6\nu}{6A} = \boxed{1\Omega}$$

$$R = 1\Omega$$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )



مدار معادل

$V = V \Rightarrow$ ولتاژ دو سر ۱۰ برابر است

$R_{th} =$ ۷/۲ $\Leftarrow$

$V_{th} =$ ۱۰V

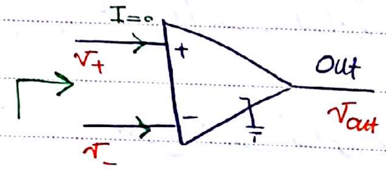
↳ جریان صفر است

در KVL پس ولتاژ دو سر

با ولتاژ منبع یکی است.

تقویت کننده عملیاتی (op_amp)

ورودی خروجی



① $(V_+ - V_-) \cdot A = V_{out}$

② $R_{in} = \infty \to$ جریان ورودی ۰

③ ایده آل : $A \simeq \infty$

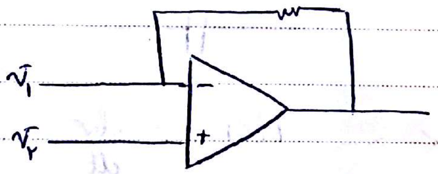
نتیجه $\Longrightarrow$ $\begin{cases} V_+ > V_- & \text{خروجی } V_{DD} \\ V_+ < V_- & \text{خروجی gnd} \end{cases}$

از high و صفر مدار نمی‌تواند خارج شود.

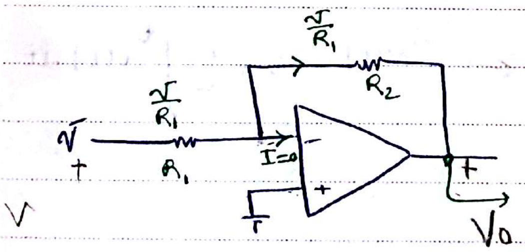
↳ به عنوان مقایسه کننده قابل استفاده است.

فیدبک ← فیدبک مثبت

فیدبک منفی ← پایدار



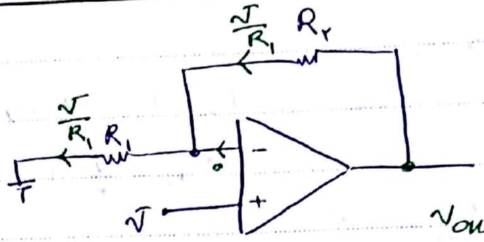
نتیجه فیدبک منفی در آپ امپ $\longrightarrow V_2 = V_1$



$V_{out} = -R_2 \times \frac{V}{R_1}$

$= \frac{-R_2}{R_1} V$

configuration مدار بین ۰ و V_{DD} باشد ← این روابط صادق نیستند چون خروجی خارج از محدوده است.



$$v_{out} = v + \frac{R_2}{R_1} v = v\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

خازن و سلف

- عناصر ذخیره کننده انرژی ← انرژی تلف یا مصرف نمی‌کنند.

خازن ← عنصری است که انرژی الکتریکی را در میدان الکتریکی ذخیره می‌کند.

سلف ← عنصری است که انرژی الکتریکی را در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

خازن ← C ظرفیت خازن

$$Q = C \cdot v$$

بار الکتریکی (C) ، (F) ، (V)

اگر ظرفیت خازن مستقل از زمان باشد

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(Cv) = C\frac{dv}{dt}$$

$$\boxed{v(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i(t)\,dt} = v(t_0) + \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i(t)\,dt$$

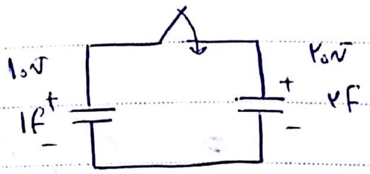
$i(t) = C\frac{dv}{dt}$ ← ولتاژ خازن ثابت باشد ← $i=0$ ← مدار باز

$v(t) = v_0 + \frac{1}{C}\int_{0}^{t} i(t)\,dt$ ← با فرض جریان محدود ← ولتاژ خازن نمی‌پرد.
(جریان ضربه نیست)

← در سری کردن خازن ها، چون بار را با یک ولتاژ بزرگ تر در خازن ذخیره می کنیم
⇐ ظرفیت خازن معادل کم می شود.

توان تلف شده در R ← $P = RI^2 = \frac{V^2}{R}$

انرژی ذخیره شده در C ← $E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$



$Q_1 = C_1 V_1 = 10C$ $\qquad E_1 = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 = 50$

$Q_2 = C_2 V_2 = 400C$ $\qquad E_2 = 400$

$$\begin{cases} Q = Q_1 + Q_2 = 500C \\ C = C_1 + C_2 = 3F \\ V = \frac{Q}{C} = \frac{500}{3} V \end{cases}$$

← تغییر ناگهانی ولتاژ در هر دو ← ولتاژ حس کرد!

قبل اتصال ← $E_1 + E_2 = 450$ $\qquad$ بعد از اتصال $\Rightarrow E = E_1 + E_2$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \left(\frac{50}{3}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \left(\frac{5}{3}\right)^2$$

$$= 1.5 \left(\frac{5}{4}\right)^2 \simeq 416$$

← تفاوت انرژی به صورت تشعشع وارد هوا شده. شرط جریان محدود نقض شده، جریان ضربه شده.
⇐ ولتاژ پریده است.

← هر جا تعدادی خازن را باهم موازی کنیم ← شرط جریان محدود نقض می شود.

خازن: $V = i(t_0) + \int_{t_0}^{t} i(t)dt$ $\qquad i = C\frac{dV}{dt}$ $\qquad Q = CV$ (فاراد f)

سلف: $i = V(t_0) + \frac{1}{NL}\int_{t_0}^{t} V(t)dt$ $\qquad V = \frac{d}{dt}\underbrace{(N\phi)}_{\lambda}$ $\qquad \phi = LI$ (هانری H)

شار مغناطیسی (flux)

ضریب القا

پیوند شار (flux linkage)

$$V = \frac{d}{dt}(NLI) = NL\frac{dI}{dt}$$

سلف خازن

$C \longleftrightarrow L$

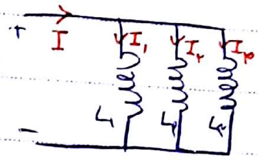
$Q \longleftrightarrow \varphi$

$V \longleftrightarrow I$

خازن سری $\frac{1}{C_{eq}} = \sum \frac{1}{C_i}$ خازن موازی $C_{eq} = \sum C_i$

سلف سری $L_{eq} = \sum L_i$ سلف موازی $\frac{1}{L_{eq}} = \sum \frac{1}{L_i}$

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} = L_2 \frac{dI_2}{dt} = L_3 \frac{dI_3}{dt}$$



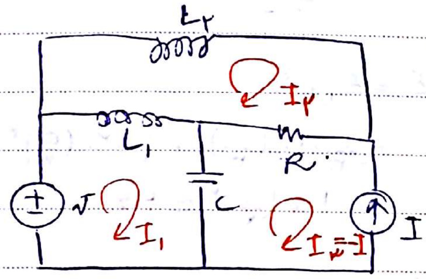
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

انتگرال گیری با فرض شرایط اولیه یکسان

$$\int_{-\infty}^{t} L \frac{dI}{dt} = L i(0) + LI$$

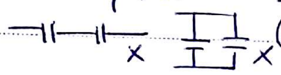
$$L_1 I_1 = L_2 I_2 = L_3 I_3 \rightarrow \frac{\varphi}{L_Q} = \frac{\varphi}{L_1} + \frac{\varphi}{L_2} + \frac{\varphi}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_Q} = \sum \frac{1}{L_i}$$



مرتبه‌ی مدار ← تعداد عناصر ذخیره‌ساز (خازن / سلف) مستقل

مستقل ← ولتاژ و جریانشان رابطه‌ی جمع نداشته باشد.



(برابر نیستند)

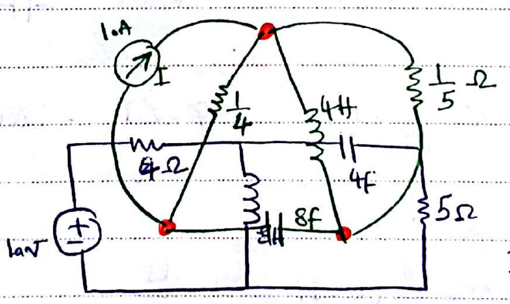
KVL در حلقه اول: $-V + L_1 \frac{d}{dt}(I_1 - I_2) + V(0) + \frac{1}{C}\int^{t}(I_1 + I)\,dt = 0$

" " " دوم: $L_2 \frac{dI_2}{dt} + R(I_2 + I) + L_1 \frac{d}{dt}(I_2 - I_1) = 0$

دوگان مدار ← سلف 8H ⟷ خازن 8F

منبع جریان 10A ⟷ منبع ولتاژ 10V

$\frac{1}{\text{مقاومت}}$ $\frac{1}{4}\Omega$ ⟷ مقاومت 4Ω

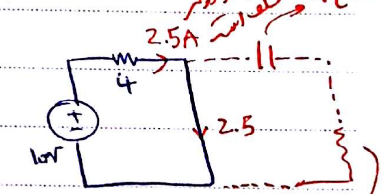


دوها ← تعداد مش‌ها

+ اتصال خارج مدار

ولتاژ دو سر خازن ولتاژ دو سر سلف است $V_C = 0$

منبع ثابت



جریان از مسیر اتصال کوتاه

خازن

$$i = C\frac{dv}{dt}$$ → ولتاژ ثابت ⇐ جریان خازن صفر

$i=0$ مدار باز

$$v = v(0) + \frac{1}{C}\int i(t)\,dt$$ ولتاژ خازن نمی‌پرد

سلف

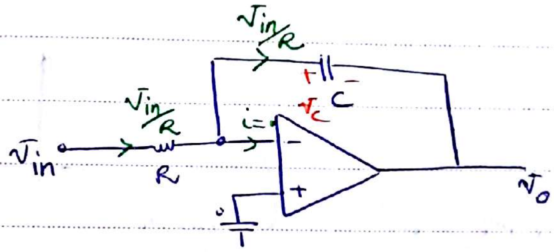
$$v = C\frac{di}{dt}$$ → جریان ثابت ⇐ ولتاژ سلف صفر

$v=0$ اتصال کوتاه

$$i = i(0) + \frac{1}{C}\int v(t)\,dt$$ جریان سلف نمی‌پرد

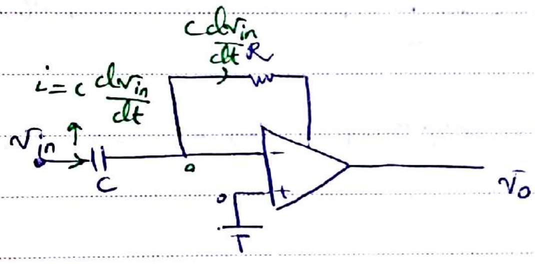
$$v_C = v_0 + \frac{1}{C}\int i(t)\,dt$$

$$= v_0 + \frac{1}{C}\int \frac{v_{in}}{R}\,dt$$



$$v_O = -v_C = -\frac{1}{RC}\int v_{in}\,dt$$

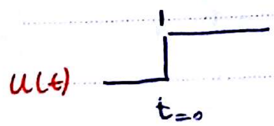
$$v_o = 0 - RC\frac{dv_{in}}{dt}$$

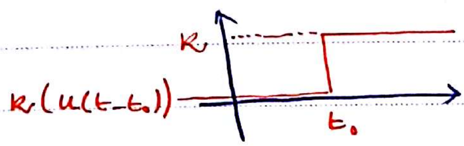


⇐ ما می‌توانیم با مدار آپ امپ معادلات دیفرانسیل خطی را حل کنیم.

ورودی های متغیر

① پله (Step)

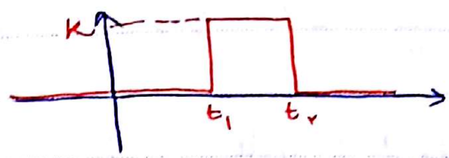




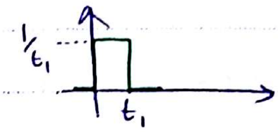
Subject:
Year. Month. Date. ( )

۲ پالس (pulse)

$ku(t-t_1) - ku(t-t_2)$

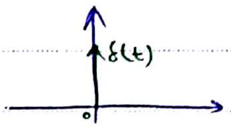


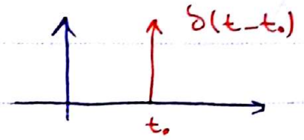
$p(t)$



۳ ضربه

$$\delta(t) = \lim_{t_1 \to 0} p(t)$$

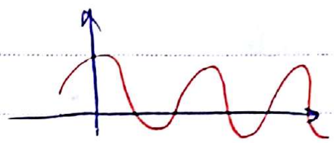




۴ سینوسی

$\cos(\omega t + \varphi)$

فرکانس ← ، فاز اولیه ←



خازن/سلف + منبع ثابت ← خازن مدار باز / سلف اتصال کوتاه

منبع متغیر + مقاومت ← مقادیر در لحظه

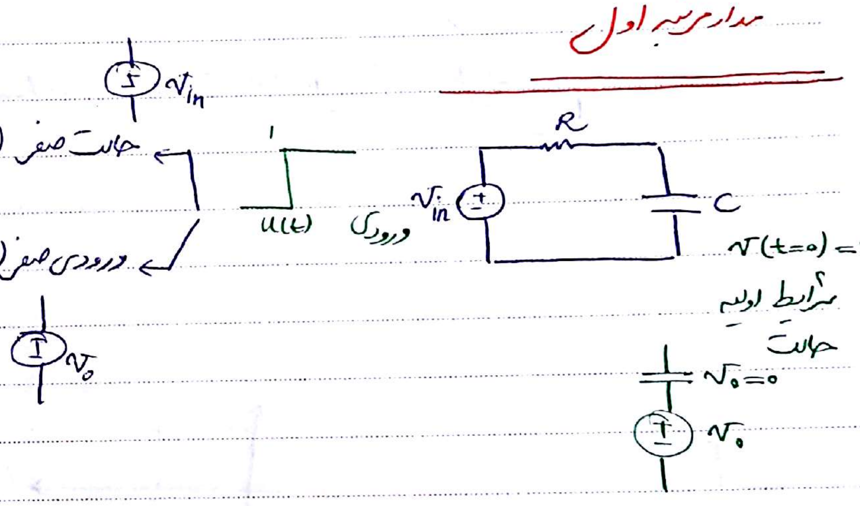
منبع متغیر ← مسئله ما!

مدار مرتبه اول

حالت صفر (فقط ورودی دارد ، حالت اولیه صفر است)

ورودی صفر (ورودی ندارد ، حالت اولیه مخالف صفر است)

$u(t)$ ورودی



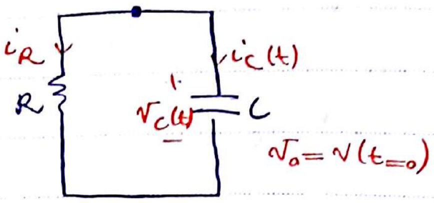
$v(t=0) = v_0$

شرایط اولیه
حالت

PAPCO

Scanned by CamScanner

ورودی صفر (خازن)

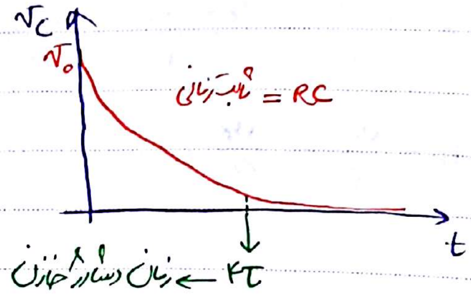


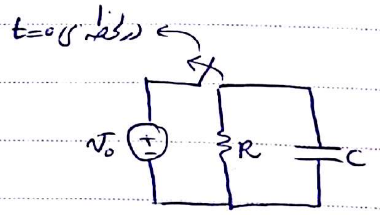
$$i_R + i_C = 0$$

$$\frac{v_C(t)}{R} + C\frac{dv_C(t)}{dt} = 0$$

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{-1}{RC} v_C$$

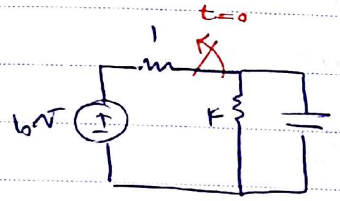
$$v_C(t) = k e^{\frac{-t}{RC}} = v_0 e^{-t/RC} \rightarrow \text{ثابت زمانی } \tau$$



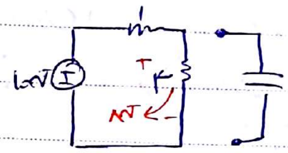


⇐ در لحظه‌ی t=0 کلید باز شود

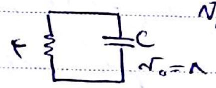
⇐ مسئله‌ی حالت صفر

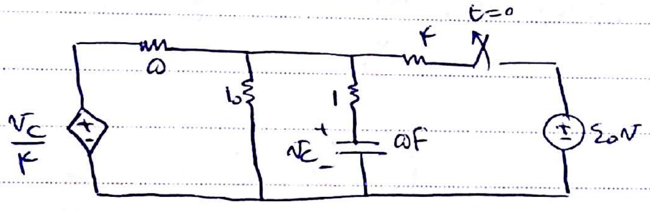


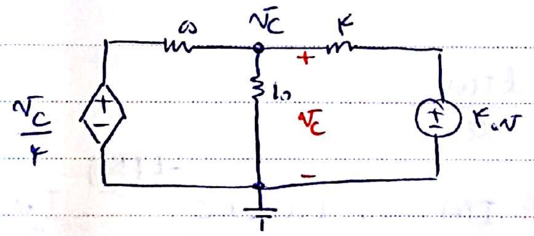
در t<0 :



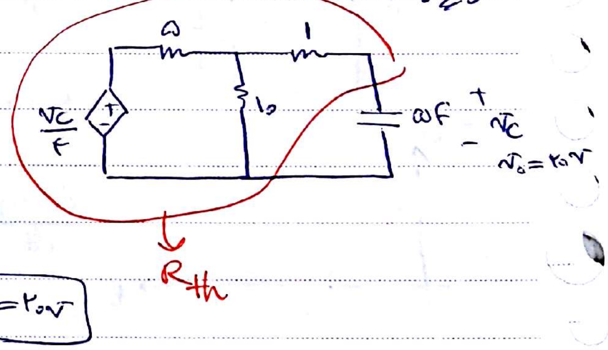
⇐ در t≥0 : $v_C = 8V$



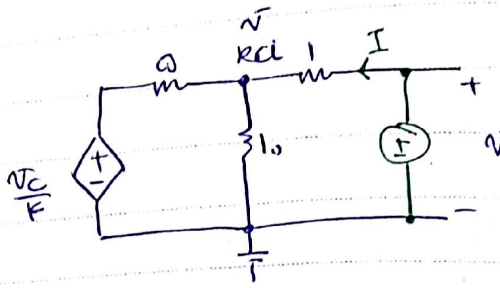




t≥0



$$\frac{v_C - \frac{v_C}{4}}{5} + \frac{v_C}{10} + \frac{v_C - 40}{4} = 0 \Rightarrow \boxed{v_C = 20V}$$



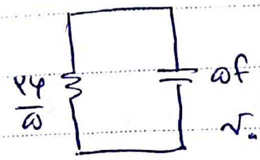
$$\frac{v-\frac{v_C}{4}}{5}+\frac{v}{10}+\frac{v-v_C}{1}=0$$

$$\downarrow$$

$$v=\frac{21}{24}v_C$$

$$I=\frac{v_C-v}{1}=\frac{v_C-\frac{21}{24}v_C}{1}=\frac{5v_C}{24}$$

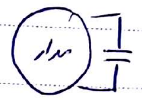
$$R_{th}=\frac{v_C}{I}=\frac{24}{5}$$



$$v_C(t)=20e^{\frac{-t}{24}}$$

ورودی صفر (شرایط اولیه داریم):

مدار خازنی



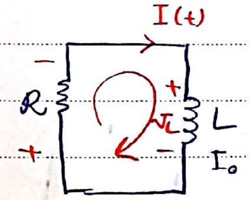
سلف (I_0)

① محاسبه ی شرایط اولیه خازن (v_0): در $t<0$ مدار را تحلیل می‌کنیم.
خازن مدار باز می‌شود ⟵ ولتاژ خازن بدست می‌آید.
سلف اتصال کوتاه — جریان سلف I_0

② محاسبه ی مقاومتی که خازن می‌بیند (R_{th}) (سلف): در $t>0$ مقاومت تونن را که خازن (سلف) می‌بیند، محاسبه می‌کنیم.

③ $I_L(t)=I_0e^{\frac{-t}{L/R_{th}}}$ $\quad v_C(t)=v_0\,e^{\frac{-t}{R_{th}\cdot C}}$

ورودی صفر (سلف)

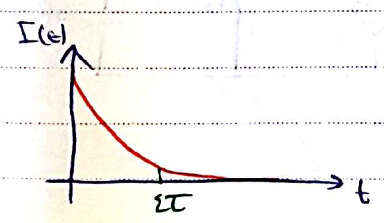


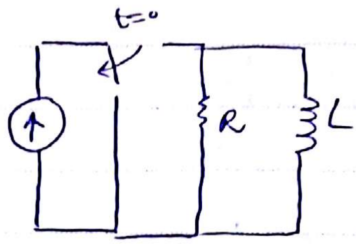
$$v_R+v_L=0$$

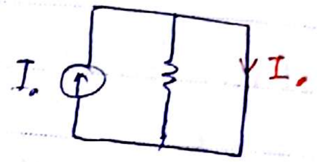
$$RI(t)+L\frac{dI(t)}{dt}=0$$

$$\frac{dI(t)}{dt}=\frac{-R}{L}I(t)\longrightarrow I(t)=ke^{-t\left(\frac{R}{L}\right)}=I_0e^{\frac{-t}{L/R}}$$

$$\tau = L/R$$



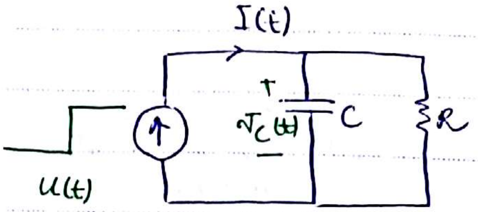




در $t<0$

$I_{L_0}=I_0$

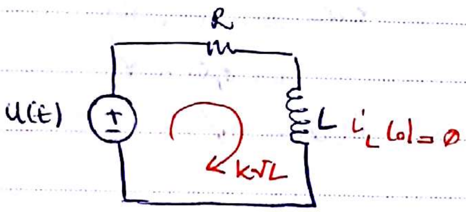
ـ> حالت صفر (خازن)



$$I(t)=C\frac{dv_C(t)}{dt}+\frac{v_C(t)}{R}$$

$$u(t)=C\frac{dv_C}{dt}+\frac{v_C}{R}$$

جواب همگن $=ke^{-t/RC}$



$$u(t)=Ri_L+L\frac{di_L}{dt}$$ → جواب خصوصی

→ جواب عمومی

$$R\overset{1}{i_L}+L\overset{p}{\frac{di_L}{dt}}=0\Rightarrow\frac{di_L}{dt}=-\frac{R}{L}\,i_L$$

$$\Downarrow$$

$$ke^{-t/(L/R)}$$

(H_p) معادله مشخصه $=R+Lp$

جواب خصوصی $=\dfrac{u(t)}{H(p=0)}=\dfrac{u(t)}{R}$

$$\frac{u(t)}{R}+u(t)\underline{\underline{k}}e^{-t/(L/R)}\longrightarrow\boxed{i_L(t)=\frac{u(t)}{R}\left(1-e^{-\frac{t}{L/R}}\right)}$$

→ در $t=0$ → $i_L=0$

$$\boxed{F(t) = \Big[F(\infty) + \big(F(0^+) - F(\infty)\big)\, e^{-\frac{t}{\tau}}\Big] u(t)}$$

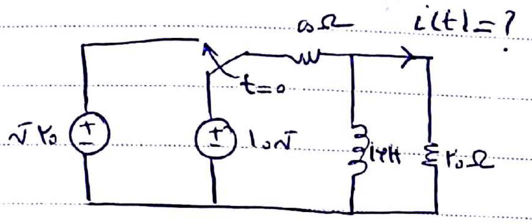
مرتبه اول خطی

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

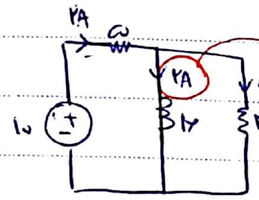
* R معادل تونن مقاومتی است که خازن / سلف می‌بیند.

$\boxed{\begin{matrix} F(\infty) \\ F(0^+) \\ R \end{matrix}}$ → این سه چیز را باید بدست آوریم

ولتاژ خازن / جریان سلف ← $F(0^+)$; $F(0^+) = F(0^-)$ ← چون نمی‌پرد.

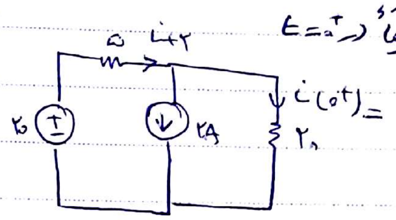


$t<0$



فقط جریان سلف را می‌توان در $t=0^+$ برد و در زمان منتقل کرد.

$t=0^+$; دقیقاً در $t=0^+$

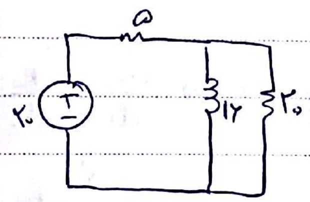


$20 = 5(i+2) + 20i$

$i = 0.4\ A$ ✓

$i(\infty) = 0$ ✓ ← سلف اتصال کوتاه

$t>0$



$R = 4\ \Omega$ ✓

$\Rightarrow i(t) = (0.4)\, e^{-\frac{t}{4}}$

① $f(0), f(\infty), R$

② $f(\infty) \leftarrow$ خازن مدار باز / سلف اتصال کوتاه

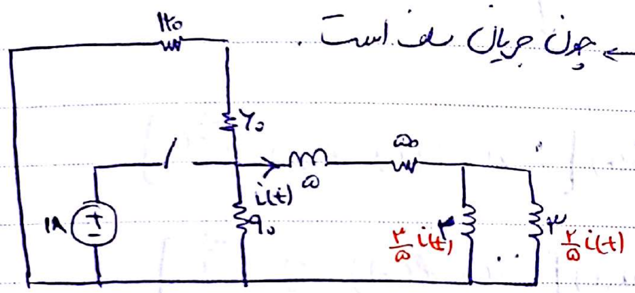
③ $R \leftarrow$ مقاومت دیده شده از خازن / سلف

④ $f(0^+) \leftarrow$ ۱- مدار را در $t=0^-$ تحلیل کنید $\leftarrow v_C(0^-)$ / $i_C(0^-)$

۲- $v_C(0^-) = v_C(0^+)$

$i_L(0^-) = i_L(0^+)$

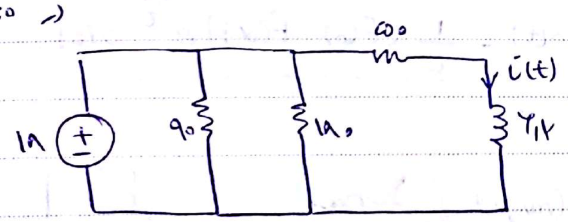
منبع ولتاژ / منبع جریان $\leftarrow (0^+)$ متغیر



$i(0^-) = i(0^+) = 0$ ✓ $\leftarrow$ چون جریان سلف است.

$L_{eq} = 4.2\,H$

در $t>0$

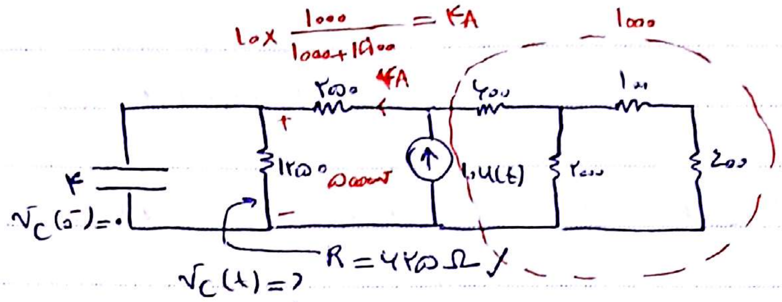


$R = 50\,\Omega$ ✓

$i(\infty) = \frac{18(?)}{50} = 0.36\,(A)$ ✓

$$i(t) = 0.36 + (0 - 0.36)\, e^{\frac{-t}{\frac{4.2}{50}}}$$

$$10\times\frac{1000}{1000+1500}=4A$$



$v_C(0^-)=0$

$v_C(t)=?$

$v_C(0^+)=0$ ✓

$v_C(\infty)=5000V$ ✓

$$v_C(t)=5000+(0-5000)e^{\frac{-t}{4250\times 4mf}}$$

پاسخ پله $\longrightarrow$ $\boxed{f(t)=u(t)\left[f(\infty)+(f(0)-f(\infty))e^{-t/\tau}\right]}$

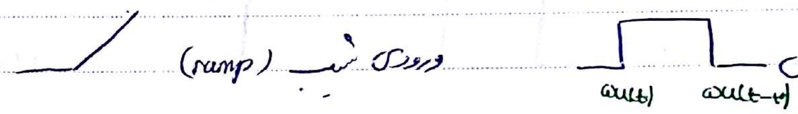
مشتق

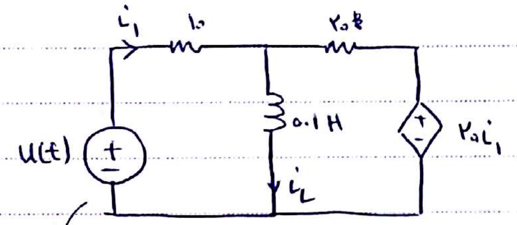
پاسخ ضربه $\longrightarrow$ $f'(t)=\delta(t)\left[f(\infty)+(f(0)-f(\infty))e^{-t/\tau}\right]$

$$+u(t)\left[(f(0)-f(\infty))\cdot\frac{-1}{\tau}e^{\frac{-t}{\tau}}\right]$$

$$=\boxed{f(0)\cdot\delta(t)-\frac{1}{\tau}(f(0)-f(\infty))e^{\frac{-t}{\tau}}u(t)}$$

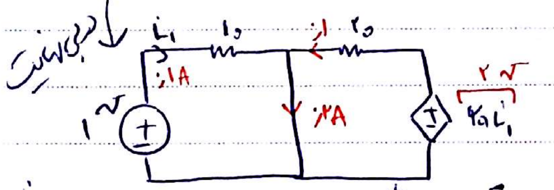
انتگرال پله ← ورودی شیب (ramp) ورودی پالس

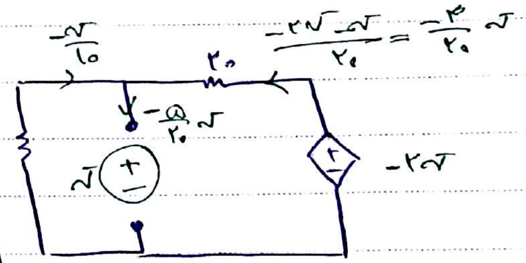




$i_L(0^-)=1A$ $\quad i(\infty)=0.2A$ ✓

$i_L(t)=?$





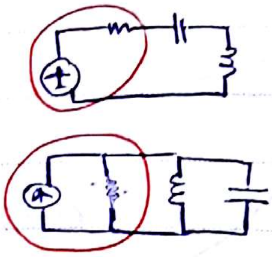
$$i_L(t)=u(t)\left[0.2+(1-0.2)e^{\frac{-t}{0.025}}\right]=\left[0.2+0.8e^{\frac{-t}{0.025}}\right]u(t)$$

$$R=\frac{v}{\frac{5}{20}v}=4\Omega$$

باید جریان خروجی از v را حساب کنیم.

$K_1\cos\omega_d t+K_2\sin\omega_d t$

مدار مرتبه دوم

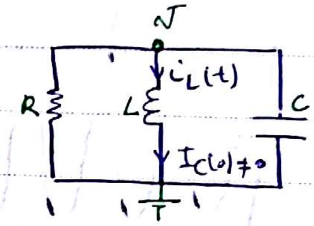


RLC سری
RLC موازی

RLC موازی

ورودی صفر ← شرایط اولیه داریم.
حالت صفر ← ورودی داریم

ورودی صفر



$$KCL: \quad i_R + i_L + i_C = 0$$

$$\frac{v}{R} + i_L + C\frac{dv}{dt} = 0 \qquad v = L\frac{di}{dt}$$

$$\boxed{\alpha = \frac{1}{2RC}}$$

$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

$$\frac{L}{R}\frac{di}{dt} + i_L + LC\frac{d^2 i_L}{dt^2} = 0 \xrightarrow{\div LC} \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \underbrace{\frac{1}{RC}}_{2\alpha}\frac{di}{dt} + \underbrace{\frac{1}{LC}}_{\omega_0^2} i_L = 0$$

معادله مشخصه $\longrightarrow p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2 = 0 \longrightarrow p = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$

$$P_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

$$P_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

$$i_L(t) = ke^{P_1 t} + ke^{P_2 t}$$

1) $\boxed{\alpha > \omega_0}$: $\boxed{k_1 e^{P_1 t} + k_2 e^{P_2 t}}$

2) $\boxed{\alpha = \omega_0}$: $\boxed{k_1 e^{P_1 t} + k_2 t e^{P_1 t}}$

3) $\boxed{\alpha < \omega_0}$: $-\alpha \pm j\underbrace{\sqrt{|\alpha^2 - \omega_0^2|}}_{\omega_d} \longrightarrow k_1' e^{-\alpha + j\omega_d} + k_2' e^{-\alpha - j\omega_d}$

$$\boxed{k_1 e^{-\alpha t}\cos\omega_d t + k_2 e^{-\alpha t}\sin\omega_d t}$$

4) $\boxed{\alpha = 0}$: $\omega_d = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \longrightarrow \boxed{k_1\cos\omega_d t + k_2\sin\omega_d t}$

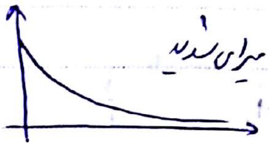
بی‌تلفات ← $R = \infty$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} \rightarrow \text{(quality)}$$ کیفیت

مثال:

① $k_1 e^{-2t} + k_2 e^{-5t}$

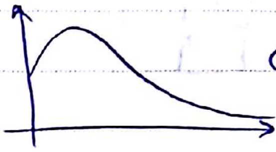


میرای شدید

* ریشه‌ها نشان ندارد (+) باشند

$Q < \frac{1}{2}$

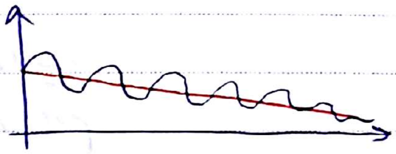
② $k_1 e^{-2t} + k_2 t e^{-2t}$

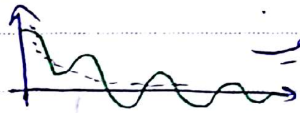


میرای بحرانی

$Q = \frac{1}{2}$

③ $k_1 e^{-2t} \cos 8t + k_2 e^{-2t} \sin 8t$

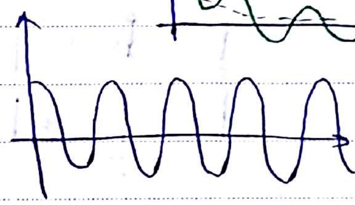




میرای ضعیف

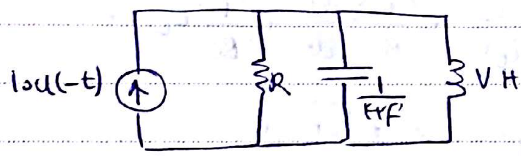
$Q > \frac{1}{2}$

④ $k_1 \cos 8t + k_2 \sin 8t$



نامیرا

$Q = \infty$



a) $R = 6\,\Omega$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{7 \cdot \frac{1}{42}}} = \sqrt{6}$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC} = \frac{1}{2 \times 6 \times \frac{1}{42}} = 3{,}5$$

$v_C(0^-) = 0 = v_C(0^+)$ (*)

$I_L(0^-) = 10$

$3{,}5 > \sqrt{6} \longrightarrow \alpha > \omega_0$ میرای شدید

$$P_1, P_2 = -\frac{7}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{7}{2}\right)^2 - 6}$$

$$k_1 e^{P_1 t} + k_2 e^{P_2 t} = k_1 e^{-t} + k_2 e^{-6t}$$

$$v_C(t) = k_1 e^{-t} + k_2 e^{-6t}$$

جریان خازن $\rightarrow C\frac{dv}{dt} = -k_1 e^{-t} - 6k_2 e^{-6t}$

در 0^+ جریان خازن -10 است.

(*) $k_1 + k_2 = 0$

$$\frac{1}{42}(-k_1 - 6k_2) = -10$$

$$\Rightarrow k_1 = 84 \,,\; k_2 = -84$$

Subject :
Year . Month . Date . ( )

b) $R = \frac{7\sqrt{6}}{2}$ $Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{2\frac{1}{2RC}} = \frac{RC}{\sqrt{LC}} = R\sqrt{\frac{C}{L}} = R\cdot\sqrt{\frac{\frac{1}{42}}{7}} = R\cdot\frac{1}{7\sqrt{6}}$

$= \frac{1}{2} = \underbrace{\frac{1}{2}}$ $\Longrightarrow$ میرایی بحرانی

$v_C(t) = k_1 e^{-s_1 t} + k_2 t e^{-s_2 t}$ $s_1 = -\alpha = \frac{-1}{2RC} = \sqrt{6}$

$= \underbrace{k_1}_{\emptyset} e^{-\sqrt{6}t} + k_2 t e^{-\sqrt{6}t}$ شرایط اولیه $\rightarrow v_C(0^+) = 0$

$\rightarrow \frac{dv_C(0^+)}{dt} = 420$

مشتق $\rightarrow \underbrace{k_2}_{420} e^{-\sqrt{6}t} + k_2(-\sqrt{6}) t e^{-\sqrt{6}t}$

c) $R = 10.5$ $Q = \frac{\sqrt{6}}{4} > \frac{1}{2} \rightarrow$ میرایی ضعیف

$v_C(t) = k_1 e^{-\alpha t}\sin(\omega_d t) + k_2 e^{-\alpha t}\cos(\omega_d t)$

$\alpha = \frac{1}{2RC} = 2$ $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \sqrt{2}$

$v_C(t) = k_1 e^{-2t}\sin(\sqrt{2}t) + \underbrace{k_2}_{\emptyset} e^{-2t}\cos(\sqrt{2}t)$ $v_C(0^+) = 0$

$\frac{dv_C(0^+)}{dt} = 420$

$\frac{dv_C(t)}{dt} = k_1 e^{-2t}\sqrt{2}\cos(\sqrt{2}t) + (-\sqrt{2})k_1 e^{-2t}\sin(\sqrt{2}t)$

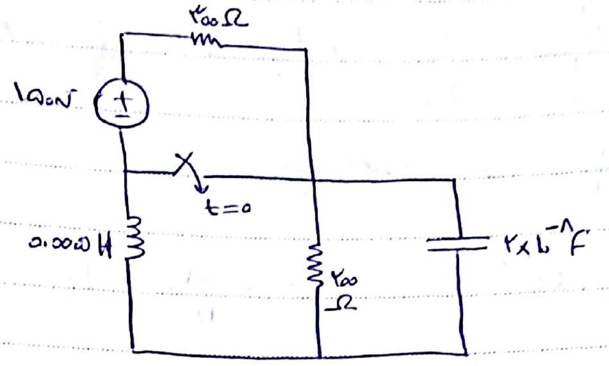
$\sqrt{2}k_1 = 420 \longrightarrow k_1 = \frac{420}{\sqrt{2}}$

d) $R = \infty \longrightarrow \alpha = 0 \longrightarrow v_C(t) = k_1\sin(\omega_0 t) + k_2\cos(\omega_0 t)$

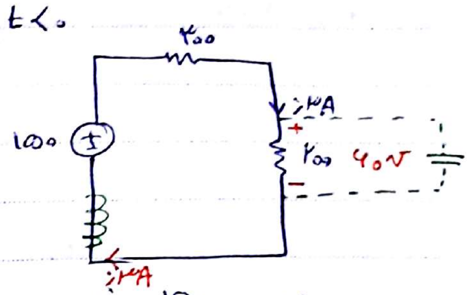
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \sqrt{6}$ $= k_1\sin(\sqrt{6}t) + \underbrace{k_2}_{\emptyset}\cos(\sqrt{6}t)$

$\frac{dv_C(t)}{dt} = \sqrt{6}k_1\cos(\sqrt{6}t) \xrightarrow{0^+} \sqrt{6}k_1 = 420$

$k_1 = \frac{420}{\sqrt{6}}$

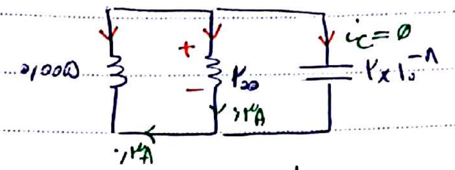


$t<0$



$i = \frac{۱۵۰}{۵۰۰} = ۰٫۳A$

$t=0^+$



$v_C(0^+) = ۶۰V$

$i_L(0^+) = -۰٫۳A$

$\alpha = \frac{1}{۲RC} = \frac{1}{۲\times۲۰۰\times۲\times۱۰^{-۸}} = ۱٫۲۵\times۱۰^{۵}$

$Q = \frac{\omega_0}{۲\alpha} = \frac{\frac{1}{\sqrt{۰٫۰۰۵\times۲\times۱۰^{-۸}}}}{۲٫۵\times۱۰^{۵}} = \frac{1}{۲٫۵} < \frac{1}{۲}$

$\Rightarrow \quad K_1 e^{s_1 t} + K_2 e^{s_2 t}$

$s_1, s_2 \to -۲\times۱۰^{۵}$

$\quad\quad\quad \to -\frac{1}{۲}\times۱۰^{۵}$

$v_C(0^+) = ۶۰V$

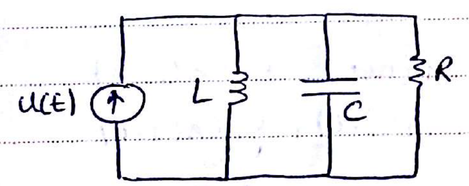
$i_C(0^+) = \frac{dv_C(0^+)}{dt} = 0$

$\begin{cases} K_1 + K_2 = ۶۰ \\ K_1 S_1 + K_2 S_2 = 0 \end{cases}$

$K_1 = -۲۰ \quad K_2 = ۸۰$

$i_R = \frac{v_R}{۲۰۰} \longrightarrow \frac{di_R}{dt} = \frac{1}{۲۰۰}\frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{۲۰۰}\times 0 \quad i_R(0^+) = ۰٫۳A \to i_R(t)$ ✓

حالت صفر



شرایط اولیه نداریم $\longrightarrow v_C(0^+) = 0$

$i_L(0^+) = 0$

KCL: $i_R + i_C + i_L = u(t)$

$i_L + \frac{v_R}{R} + C\frac{dv_C(t)}{dt} = i_L + \frac{v_L}{R} + C\frac{dv_L(t)}{dt} = i_L + \frac{L\frac{di_L}{dt}}{R} + CL\frac{d^2 i_L}{dt} = u(t)$

Subject :
Year . Month . Date . ( )

← جواب عمومی ← همان جواب های قبلی ← یکی از آن ۳ تا

← جواب خصوصی

$$i_L(t) = \underbrace{\text{جواب عمومی}} + \underbrace{\text{جواب خصوصی}}$$

در سه حالت اول که میرا هستند ← که در بی نهایت صفر می‌شود.

جواب مدار در بی نهایت
مقدار در بی نهایت

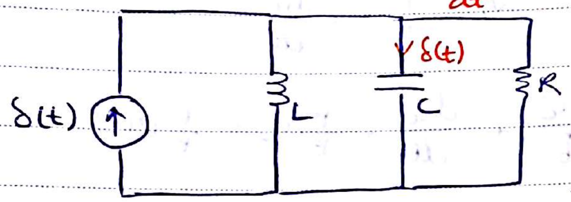
در اینجا ← $u(t)$

* برای پیدا کردن k_1 و k_2، باید شرایط اولیه‌ی کل عبارت جواب را بررسی کنیم.

* فرض می‌کنیم هیچ گاه حالت ناپایدار اتفاق نمی‌افتد.

① راه:

$$\Rightarrow C\frac{dv_C}{dt} = \delta(t) \rightarrow \frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C}\delta(t) \longrightarrow v_C(0^+) = \frac{1}{C}$$



$v_C(0^-) = 0$

$i_L(0^+) = 0$

جریان از R نمی‌گذرد چون در
این صورت که می‌پرد و بی نهایت می‌شود ⇐ ناممکن

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{1}{RC}\frac{di_L}{dt} + \frac{1}{LC}i_L = \delta(t) \times \frac{1}{LC}$$

$$i_L(t) = k_1 e^{s_1 t} + k_2 e^{s_2 t} + \underbrace{\text{جواب خصوصی}}_{\delta(t)}$$

ممکن است بپرد ← $v_C(0^-) = 0$

نمی‌پرد چون ولتاژ بی نهایت نشده ← $i_L(0^+) = 0$

$$\frac{di_L}{dt}(0^+) = \frac{1}{L}v_C \longrightarrow \frac{di_L}{dt}(0^+) = \frac{1}{LC}$$

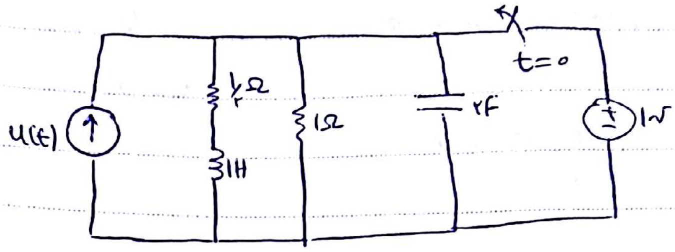
② راه:

$$\underbrace{\int_{0^-}^{0^+}\frac{d^2 i}{dt^2}}_{\frac{di_L(0^+)}{dt}} + \underbrace{\int_{0^-}^{0^+}\frac{1}{RC}\frac{di}{dt}}_{\frac{1}{RC}i_L(0^+) = 0} + \underbrace{\int_{0^-}^{0^+}\frac{1}{LC}i_L}_{\text{پیوسته است}} = \underbrace{\int_{0^-}^{0^+}\delta(t)\times\frac{1}{LC}}_{\frac{1}{LC}}$$

→ همیشه می‌توان این کار را انجام داد.

Scanned by CamScanner

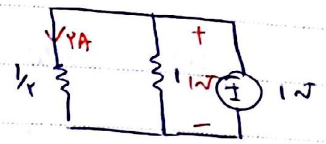
Subject,
Year. Month. Date. ( )



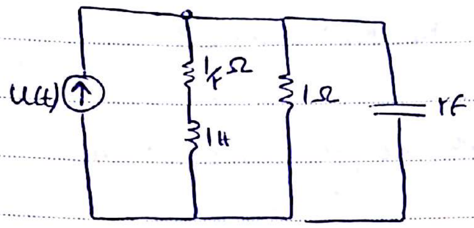
$t=0^-$

$v_C(0^-)=1V$

$i_L(0^-)=2A$



$t=0^+$: KCL



$v_R = v_C = \frac{1}{2} i_L + \frac{di_L}{dt}$

$i_R + i_C + i_L = u(t)$

$\hookrightarrow 2\frac{dv_C}{dt} = 2\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} i_L + \frac{di_L}{dt}\right)$

$\hookrightarrow v_R = \frac{1}{2} i_L + \frac{di_L}{dt}$

$$\Rightarrow \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{di_L}{dt} + \frac{3}{4} i_L = \frac{1}{2} u(t)$$

$p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2 = \dots$

$2\alpha = 1 \longrightarrow \alpha = \frac{1}{2}$

$\omega_0^2 = \frac{3}{4} \longrightarrow \omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} > \frac{1}{2}$ میرای ضعیف

$$\Rightarrow i_L = K_1 e^{-\alpha t}\cos(\omega_d t) + K_2 e^{-\alpha t}\sin(\omega_d t) + \underbrace{\text{جواب خصوصی}}_{\frac{2}{3}}$$

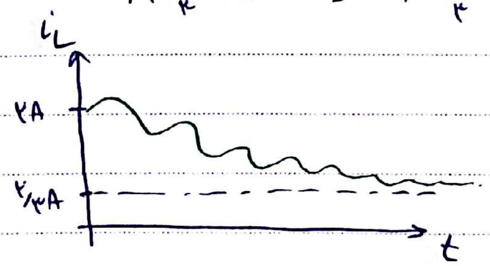
$\alpha = \frac{1}{2}$

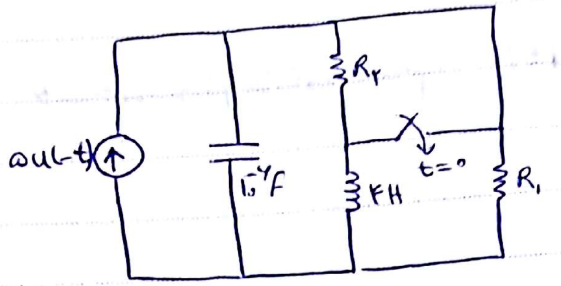
$\omega_d = \sqrt{|\alpha^2 - \omega_0^2|} = \sqrt{\left|\frac{1}{4} - \frac{3}{4}\right|} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$i_L(\infty) = \frac{2}{3}$

$\rightarrow v_C(0^-) = 1V \qquad \frac{di_L}{dt}(0^+) = v_L(0^+) = 0V \qquad i_L(0^-) = 2A \rightarrow i_L(0^+) = 2A$

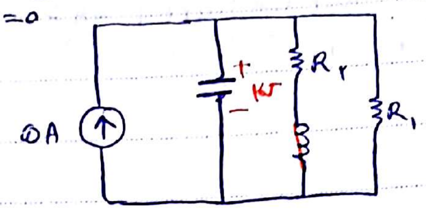
$K_1 + \frac{2}{3} = 2A \longrightarrow K_1 = \frac{4}{3} \qquad K_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3}$





$$\begin{cases} v_C(0^+) = 2v \\ Q = \frac{1}{2} \end{cases} \qquad R_1, R_2 = ?$$

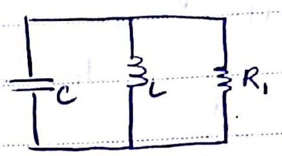
$t=0^-$



$$v_C(0^+) = v_C(0^-) = 2v$$

$$\longrightarrow R_1 \parallel R_2 = 0.4\,\Omega = \frac{2v}{5A}$$

$t=0^+$



$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{1}{RC}} = \frac{R_1 C}{\sqrt{LC}} = R_1\sqrt{\frac{C}{L}}$$

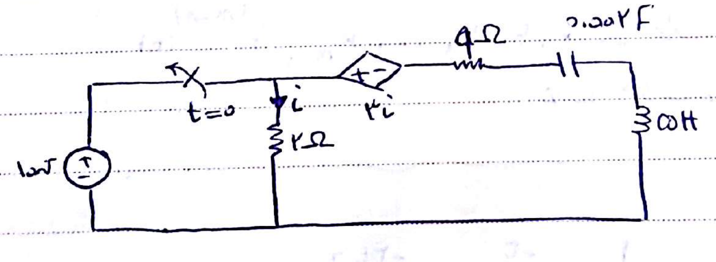
$$\Rightarrow \boxed{R_1 = 100\,\Omega}$$

$$\frac{100R_2}{100+R_2} = 0.4 \longrightarrow 100R_2 = 40 + 0.4R_2 \longrightarrow \boxed{R_2 = \frac{40}{99.6}}$$

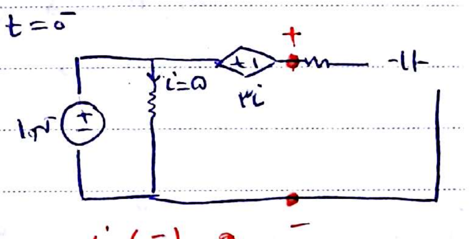
RLC موازی ← RLC سری

$$\downarrow \qquad\qquad \downarrow$$

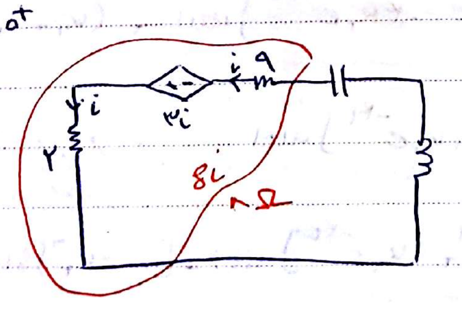
تنها تفاوت ⟶ $\alpha = \frac{R}{2L}$ ، $\alpha = \frac{1}{2RC}$



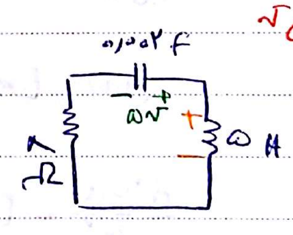
$t=0^-$



$t=0^+$



⟶



$$i_L(0^-) = 0$$

$$v_C(0^-) = 10v - 3i = -5v$$

$$\omega_0 = 10$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} = 0.8$$

$$Q = \frac{10}{1.6} > \frac{1}{2}$$

← میرای ضعیف

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$i_L(t) = K_1 e^{-\alpha t} \underset{0.8}{\downarrow}\ \sin(\underset{\simeq 10}{\omega_d} t) + \cancel{K_2} e^{-\alpha t} \cos(\omega_d t)$$ جواب خصوصی نداریم چون ورودی نداریم .

$i_L(0^-) = i_L(0^+) = 0$

$\frac{di_L}{dt}(0^+) = \frac{1}{L} v_L = 1 V$ $\quad \frac{di_L}{dt}(0^+) = K_1 \underbrace{e^{-\alpha t}}_{1} \underbrace{\omega_d}_{\simeq 10} \underbrace{\cos(\omega_d t)}_{1} \Rightarrow K_1 \simeq \frac{1}{10}$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 4\frac{dy(t)}{dt} + 3y(t) = \frac{dw(t)}{dt} + 2w(t) \qquad w(t) = \delta(t) \text{ ضربه}$$

$$\delta'(t) + 2\delta(t)$$

پاسخ ضربه ، ورودی صفر است

$p^2 + 2\alpha p + 3 = 0$

$\alpha = 2$ $\longrightarrow Q = \frac{\sqrt{3}}{4} < \frac{1}{2} \longrightarrow$ میرای شدید

$\omega_0 = \sqrt{3}$

جواب عمومی $\rightarrow K_1 e^{S_1 t} + K_2 e^{S_2 t}$ $\quad S_1, S_2 = -2 \pm \sqrt{4-3} = \begin{cases} -1 \\ -3 \end{cases}$

$= K_1 e^{-t} + K_2 e^{-3t}$ جواب عمومی در $u(t)$

در سمت چپ بیشینه است

$y(t) = [K_1 e^{-t} + K_2 e^{-3t}] u(t) + \emptyset$ $\quad \longrightarrow$ مراتب $\delta(t)$ نمی‌توانند جواب باشند .

(*)

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + \dots = \frac{d^m w(t)}{dt^m}$$

$m \geq n \longrightarrow$ جواب خصوصی $= K_0 \delta(t) + \dots + K_{m-n} \delta^{(m-n)}(t)$

$m < n \longrightarrow$ جواب خصوصی $= \emptyset$

جایگذاری $y(t)$ در معادله دیفرانسیل $\rightarrow \frac{dy(t)}{dt} = [-K_1 e^{-t} - 3K_2 e^{-3t}] u(t) + (K_1 + K_2)\delta(t)$

$y(t) = [K_1 e^{-t} + K_2 e^{-3t}] u(t)$ در معادله ضرایب صفر میشن

$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = [K_1 e^{-t} + 9K_2 e^{-3t}] u(t) + [-K_1 - 3K_2]\delta(t) + (K_1 + K_2)\delta'(t)$

$\longrightarrow K_1 + K_2 = 1$ $\qquad K_2 = K_1 = \frac{1}{2}$

$\longrightarrow -K_1 - 3K_2 + 4K_1 + 4K_2 = 2 \longrightarrow 3K_1 + K_2 = 2$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$4\frac{dy(t)}{dt}+4y(t)=\omega(t)+\frac{2}{3}\frac{d\omega(t)}{dt} \qquad \omega(t)=\delta(t)$$

$k_1e^{-t}u(t)$ $\quad 4p+4=0 \to p=-1$ معادله مشخصه ← جواب عمومی

$k_2\delta(t)$ $\quad (*)$ ← جواب خصوصی

$$y(t)=k_1e^{-t}u(t)+k_2\delta(t)$$

$$4\frac{dy(t)}{dt}+4y(t)=\underbrace{4k_1\delta^t}+\underbrace{4k_2\delta'(t)}+\underbrace{4k_2\delta(t)}=\delta(t)+\underbrace{\frac{2}{3}\delta'(t)}$$

$$4k_1+4k_2=1 \longrightarrow k_1=\frac{1}{18}$$

$$4k_2=\frac{2}{3} \longrightarrow k_2=\frac{1}{9}$$

$$\frac{dy(t)}{dt}+2y(t)=\frac{d^2\omega(t)}{dt^2}+3\frac{d\omega(t)}{dt}+2\omega(t)$$

ورودی $\omega(t)$ = ضربه $\delta(t)$ $\longrightarrow$ $y(t)=?$
وستار جریان

$y(t)=$ جواب عمومی + جواب خصوصی $=k_1e^{-2t}u(t)+k_2\delta(t)+k_3\delta'(t)$

$p+2=0$ $\quad\quad k_2\delta''(t)+k_3\delta'(t)$

$p=-2$

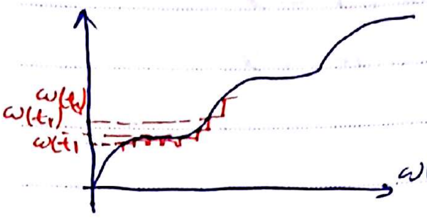
$k_1e^{-2t}u(t)$

جایگذاری در معادله $\rightarrow$ $-2ke^{-2t}u(t)+k_1e^{-2t}\delta(t)+k_2\delta''(t)+k_3\delta''(t)+2k_1e^{-2t}u(t)$
$+2k_2\delta(t)+2k_3\delta'(t)=\delta''(t)+3\delta'(t)+2\delta(t)$

$$\begin{cases}k_1+2k_3=3\\ k_2+2k_3=3\\ k_3=1\end{cases} \longrightarrow k_1=k_2=k_3=1$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

پیدا کردن پاسخ مدار به هر ورودی، با داشتن پاسخ ضربه



ورودی $= \sum \Delta \cdot \omega(t_k) \cdot \delta(t-t_k)$

$\lim \Delta \to 0$

$\omega(t) =$ ورودی $= \int \omega(t')\,\delta(t-t')\,dt'$

مدار ما خطی است ⇐

$y(t) =$ پاسخ $= \int dt'\,\omega(t')\,\underbrace{h(t-t')}$ → پاسخ ضربه

$\Rightarrow \quad h(t) * \omega(t) = \int_{-\infty}^{t} \omega(t')\,h(t-t')\,dt'$ کانولوشن

معادل عملگر کانولوشن در حوزه‌ی فرکانس تبدیل لاپلاس است.

$h(t)$ تبدیل لاپلاس $h(t)$ در حوزه‌ی فرکانس $H(s) \cdot W(s)$

$f(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} F(s)$ $\quad F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t)\,dt$ $\quad H(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} h(t)\,dt$

1. $\mathcal{L}\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(s) + F_2(s)$
2. $\mathcal{L}\{a f_1(t)\} = a F_1(t)$
3. شیفت زمانی $\quad \mathcal{L}\{f(t-t_0)\} = e^{-t_0 s} F(s)$
4. شیفت فرکانسی $\quad \mathcal{L}\{e^{s_0 t} f(t)\} = F(s-s_0)$
5. تغییر مقیاس $\quad \mathcal{L}\{f(t/a)\} = a F(as)$

PAPCO

Scanned by CamScanner

Subject:
Year.   Month.   Date.   ( )

t در حوزه زمان

⑥ مشتق زمانی $\mathcal{L}\{f'(t)\} = sF(s) - f(0^-)$

⑦ مشتق فرکانسی $\mathcal{L}\{-tf(t)\} = \dfrac{dF(s)}{ds}$

$\delta(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} 1$

$u(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} \dfrac{1}{s}$

$u(t) \xrightarrow{\text{مشتق}} \delta(t)$

$\dfrac{1}{s} \longrightarrow s\left(\dfrac{1}{s}\right) - u(0^-) = 1$

$-tu(t) \xleftarrow{\mathcal{L}^{-1}} \dfrac{-1}{s^2}$

⑧ تعمیم مشتق زمانی $\mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\} = s^n F(s) - s^{n-1} f(0^-) - s^{n-2} f'(0^-) - \dots - f^{(n-1)}(0^-)$

⑨ تعمیم مشتق فرکانسی $\mathcal{L}\{(-t)^n f(t)\} = \dfrac{d^n F(s)}{ds^n}$

$f^{-1}(t) = \int f(t)\,dt$

⑩ انتگرال $\mathcal{L}\left\{\int f(t)\,dt\right\} = \dfrac{F(s)}{s} + \dfrac{f^{-1}(0^-)}{s}$

(تبدیل لاپلاس دیراک) ۱

$\dfrac{1}{s} + \cancel{\dfrac{u(0^-)}{s}} = \dfrac{1}{s}$

$\cancel{\dfrac{u(0^-)}{s}} \to 0$

$u(t) \xleftarrow{\text{انتگرال}} \delta(t)$

تبدیل لاپلاس $F(s)$

- مقدار $f(t)$ در ۰: $\displaystyle f(t)_{t\to 0} = \lim_{s\to\infty} sF(s)$
- مقدار تابع در ∞: $\displaystyle f(t)_{t\to\infty} = \lim_{s\to 0} sF(s)$

$F(s) = \dfrac{4s+5}{s^2+4s}$ در $t=0$ $\displaystyle \lim_{s\to\infty} s\left(\dfrac{4s+5}{s^2+4s}\right) = 4$

در $t=\infty$ $\displaystyle \lim_{s\to 0} s\left(\dfrac{4s+5}{s^2+4s}\right) = \dfrac{5}{4}$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تبدیل لاپلاس های مورد

$\frac{1}{s+a} \quad e^{-at}u(t)$

$\frac{1}{(s+b)^n} \quad \frac{1}{(n-1)!}t^n u(t)e^{-bt}$

$1 \quad \delta(t)$

$\frac{1}{s} \quad u(t)$

$\frac{1}{s^2} \quad t\,u(t)$ (ramp)

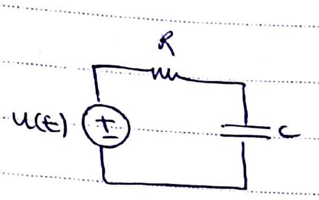
$s \longrightarrow \delta'(t)$

$s^2 \longrightarrow \delta''(t)$

$\vdots$

$\frac{\omega}{s^2+\omega^2} \qquad \frac{e^{j\omega t}-e^{-j\omega t}}{2j} = \sin(\omega t)$

$\frac{s}{s^2+\omega^2} \qquad \frac{e^{j\omega t}+e^{-j\omega t}}{2} = \cos(\omega t)$



$\frac{1}{s} = V_R(s) + V_C(s) = RI_R(s) + V_C(s) =$

$RC(sV_C(s) - V_C(0^-)) + V_C(s)$

$= RCsV_C(s) + V_C(s) \Rightarrow V_C(s) = \frac{1/RC}{s(\frac{1}{RC}+s)}$

$= \frac{A}{s} + \frac{B}{1/RC + s} \xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}} Au(t) + Be^{-t/RC}u(t)$

$$Y(s) = \frac{\text{تابعی برحسب } s}{(s+a)(s+b)^n((s+c)^2+d^2)((s+e)^2+f^2)^m}$$

$((s+c)+dj)((s+c)-dj)$

$$= \frac{k_1}{s+a} + \frac{k_{21}}{s+b} + \frac{k_{22}}{(s+b)^2} + \dots + \frac{k_{2n}}{(s+b)^n}$$

(مزدوج)

$$+ \frac{k_{31}}{s+c+dj} + \frac{\overline{k_{31}}}{s+c-dj} + \frac{k_{41}}{s+e+fj} + \frac{\overline{k_{41}}}{s+e-fj} + \dots + \frac{k_{4m}}{(s+e+fj)^m} + \frac{\overline{k_{4m}}}{(s+e-fj)^m}$$

$k_1 = Y(s)(s+a)\Big|_{s=-a} \qquad k_{2n} = Y(s)(s+b)^n\Big|_{s=-b}$

$k_{2,n-1} = \frac{d}{ds}Y(s)(s+b)^n\Big|_{s=-b} \qquad k_{2,n-i} = \frac{1}{i!}\frac{d^i}{ds^i}Y(s)(s+b)^n\Big|_{s=-b}$

PAPCO

$k_{21} = \frac{1}{(n-1)!}\frac{d^{n-1}}{ds^{n-1}}Y(s)(s+b)^n\Big|_{s=-b}$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$H(s) = \frac{12(s+30)}{s(s+5)(s+3)^2} = \frac{k_1}{s} + \frac{k_2}{s+5} + \frac{k_3}{s+3} + \frac{k_4}{(s+3)^2}$$

$$k_1 = \frac{12 \times 30}{5 \times 9} = 8 \qquad k_2 = \frac{12 \times 25}{-5 \times 4} = -15$$

$$k_3 = \frac{12 \times 27}{-3 \times 2} = -54 \qquad k_3 = \left(\frac{12(s+30)}{s(s+5)}\right)' \Bigg|_{s=-3} = \frac{12(s+5)s - (2s+5)\,12(s+30)}{(s^2+5s)^2}$$

$$= \frac{12 \times 2 \times (-3) - 12 \times 27 \times (-1)}{36} = -2 + 9 = 7$$

$\boxed{44}$

$$h(t) = 8u(t) - 15e^{-5t}u(t) - 54e^{-3t}u(t) + 44e^{-3t}t\,u(t)$$

$$H(S)=\frac{12(S+30)}{S(S+5)(S+3)^2}=\frac{k_1}{S}+\frac{k_2}{S+5}+\frac{k_3}{S+3}+\frac{k_4}{(S+3)^2}$$

$$k_1=\frac{12\times 30}{5\times 9}=8 \qquad k_2=\frac{12\times 25}{-5\times 4}=-15$$

$$k_3=\frac{12\times 27}{-3\times 2}=-54 \qquad k_4=\left(\frac{12(S+30)}{S(S+5)}\right)'\Bigg|_{S=-3}=\frac{12(S+5)S-12(S+30)(2S+5)}{(S^2+5S)^2}$$

$$=\frac{12\times 2\times(-3)-12\times 27\times(-1)}{36}=-2+9=\cancel{7}\quad \boxed{44}$$

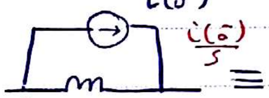
$$h(t)=8u(t)-15e^{-5t}u(t)-54e^{-3t}u(t)+44e^{-3t}t\,u(t)$$

$|B|\angle B \qquad |B|\angle \bar{B}$

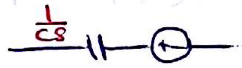
$$* \quad \frac{B}{S+C+dj}+\frac{\bar{B}}{S+C-dj}=2|B|e^{-ct}\cos(dt+\angle B)$$

المان	زمان	لاپلاس	امپدانس $V(S)=Z(S)\,I(S)$
	$v(t)=RI(t)$	$V(S)=R\,I(S)$	R
	$v(t)=L\frac{di(t)}{dt}$	$V(S)=LS\,I(S)-Li(0^-)=LS\left(I(S)-\frac{i(0^-)}{S}\right)$	LS
	$i(t)=C\frac{dv(t)}{dt}$	$I(S)=CS\,V(S)$ → $\frac{1}{CS}$	$\frac{1}{CS}$

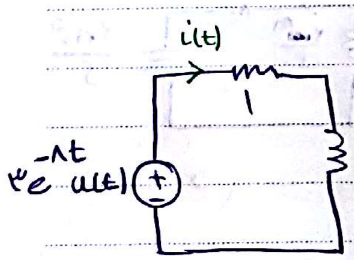
$i(0^-)$



$LS\; i(0^-)=0$

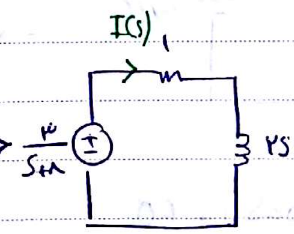


$v(0^-)=0 \quad \frac{v(0^-)}{S}$



معادل مداری

تبدیل لاپلاس



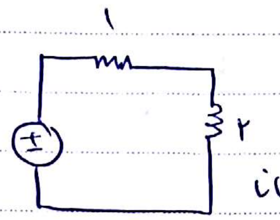
$$\frac{3}{S+8}=I(S)\cdot 1+I(S)\cdot 2S \rightarrow I(S)=\frac{\frac{3}{S+8}}{2S+1}$$

$$A=I(S)\cdot(S+8)\Big|_{S=-8}=\frac{\frac{3}{2}}{S+\frac{1}{2}}\Bigg|_{S=-8}=-0.2$$

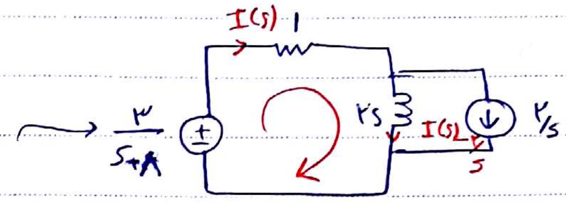
$$=\frac{3/2}{(S+8)(S+\frac{1}{2})}=\frac{-0.2}{S+8}+\frac{0.2}{S+\frac{1}{2}}$$

$$i(t)\xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}\underbrace{-0.2e^{-8t}u(t)}_{\text{جواب خصوصی مدار}}+\underbrace{0.2e^{-t/2}u(t)}_{\text{جواب عمومی مدار}}$$

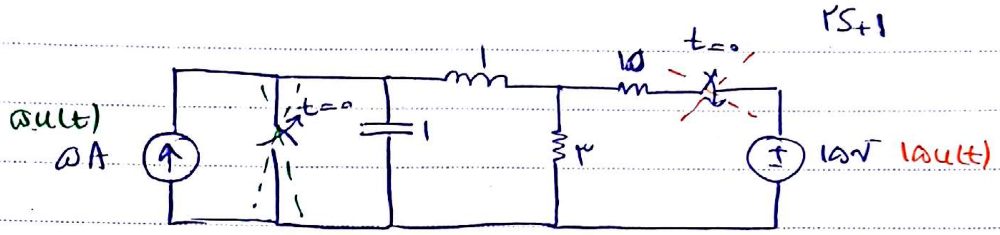
Subject:
Year. Month. Date. ( )

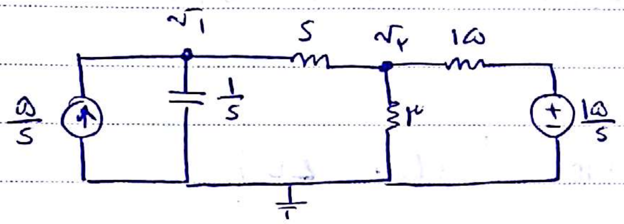


$i(0) = ۲A$



$$I(S) = \frac{-۴ + \frac{۳}{S+۸}}{۲S+1}$$





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

KCL: ①: $-\frac{۵}{s} + \frac{V_1}{1/s} + \frac{V_1 - V_۲}{s} = 0$

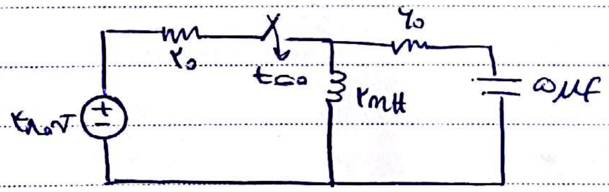
②: $\frac{V_۲ - V_1}{s} + \frac{V_۲}{۳} + \frac{V_۲ - \frac{۱۵}{s}}{۱۵} = 0$

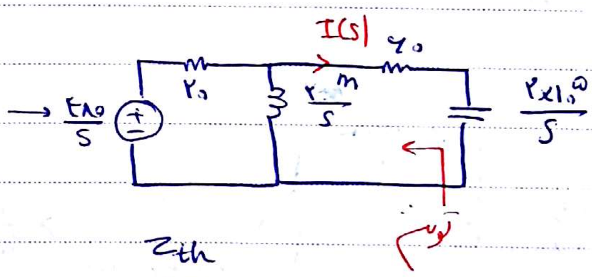
$$\rightarrow \quad V_1 = \frac{۵(s+۳)}{(s+۲)(s+\frac{1}{۲})s}$$

$$V_۲ = \frac{\frac{۵}{۲}(s^۲+۴)}{s(s+۲)(s+\frac{1}{۲})}$$

$$V_1 = \frac{۹/۲}{s+۲} + \frac{-\frac{۵۰}{۳}}{s+\frac{1}{۲}} + \frac{۱۵}{s} \rightarrow ۱۵u(t) +$$

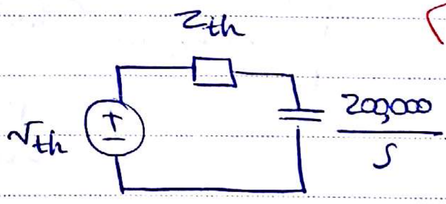
$$V_۲ = \frac{۱۵}{s} + \frac{۲۵/۳}{s+۲} + \frac{-\frac{۱۲۵}{۶}}{s+\frac{1}{۲}} \rightarrow ۱۵u(t) + \frac{۲۵}{۳}e^{-۲t}u(t) + \left(\frac{-۱۲۵}{۶}\right)e^{-t/۲}u(t)$$





$$Z_{th} = (20 \,\|\, 0.002S) + 60$$

$$V_{th} = \frac{480}{S} \cdot \frac{0.002S}{20 + 0.002S}$$

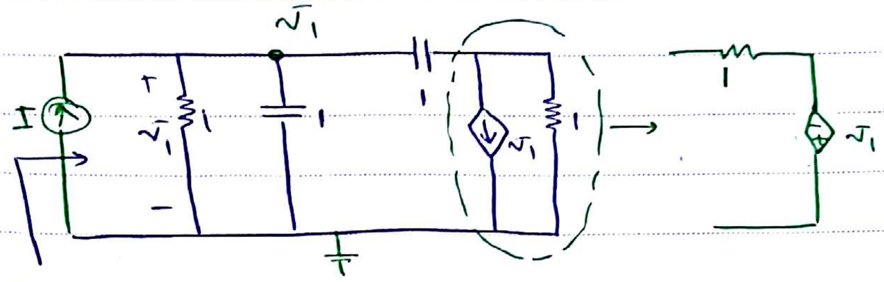


$$B = I(s).(s+5000)^2\Big|_{s=-5000} = 6s = -30000 \qquad I(s) = \frac{V_{th}}{Z_{th} + \frac{200000}{s}} = \frac{6S}{(S+5000)^2}$$

$$A = \frac{d}{ds} I(s).(s+5000)^2\Big|_{s=-5000} = 6 = 6$$

$$= \frac{A\ 6}{S+5000} + \frac{B\ -30000}{(S+5000)^2}$$

$$I(t) = ۶e^{-5000t}u(t) - 30000te^{-5000t}u(t)$$

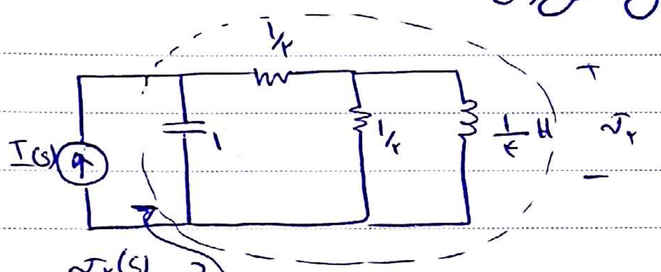


$Z_{th}=?$

$$-I + \frac{v_1}{1} + \frac{v_1}{1/s} + \frac{\overbrace{v_1-(-v_1)}^{2v_1}}{1+1/s} = 0$$

$$I = v_1\left(1+s+\frac{2s}{s+1}\right) \longrightarrow Z_{th} = \frac{v_1}{I} = \frac{1}{1+s+\frac{2s}{s+1}} = \boxed{\frac{s+1}{s^2+4s+1}}$$

حل مسئله تمام است چون امپدانس معادل زمان ندارد.



$\frac{v_2(s)}{I(s)}=?$

$$Z = \left(\left(\frac{1}{2} \| \frac{s}{4}\right) + \frac{1}{2}\right) \| \frac{1}{s} \qquad Z.\,I(s) = v_1$$

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\left(\frac{1}{2} \| s/4\right)}{\left(1/2 \| s/4\right) + 1/2}$$

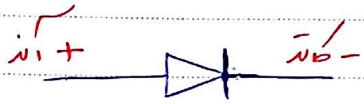
$$v_2(s) = \frac{s}{2(s^2+2s+2)} I(s)$$

تابع شبکه $H(s)$ ← تبدیل لاپلاس پاسخ ضربه $\xrightarrow{\mathcal{L}^{-1}}$ پاسخ ضربه $h(t)$

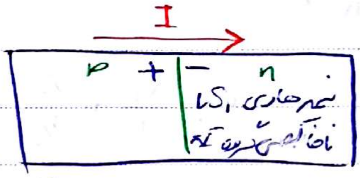
تبدیل لاپلاس خروجی / تبدیل لاپلاس ورودی

الکترونیک

دیود



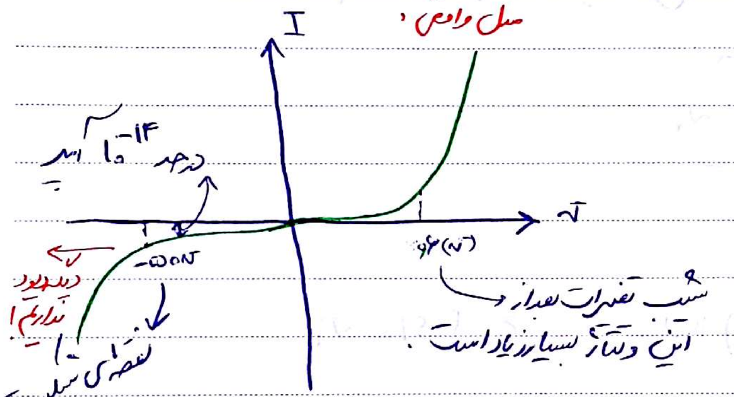
خاصیت یکسوسازی ← در این جهت از خودش جریان عبور می‌دهد.



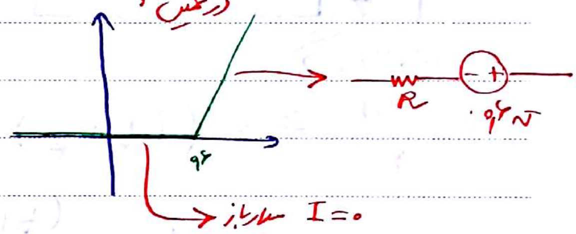
n: نیمه‌هادی ← Si با ناخالصی دوره V ← الکترون اضافی

p: نیمه‌هادی ← Si با ناخالصی دوره III ← حفره‌ی اضافه

← جریان جهت حرکت حفره است.



← دیود در خلاف جهت مدار باز است.



$$i = I_s\left(e^{\frac{v}{nV_T}} - 1\right)$$

i: جریان دیود ، v: ولتاژ دیود

I_s: تابع دما ← $10^{-10} \dots 10^{-12}$

V_T (تابع دما): ← $V_T = \frac{KT}{q}$ ← q (بار یک الکترون) = $1.602\times10^{-19}\,C$

n: بین ۱ تا ۲ $1<n<2$ ← فرض n=1 ← T: دما بر حسب کلوین $273 + {}^{\circ}C$

← K: ثابت بولتزمان 1.38×10^{-23}

به ازای دمای محیط ← $V_T \simeq 25\,mV$

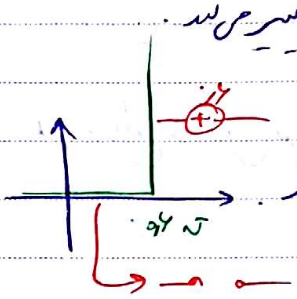
$n \simeq 1$

$$i = I_s\left(e^{\frac{v}{25mV}} - 1\right) \qquad \frac{i_2}{i_1} = e^{\frac{v_2 - v_1}{25mV}}$$

$$v_2 - v_1 = 25(m)\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = \underbrace{2.3\times 25mV}_{60mV}\log\frac{I_2}{I_1}$$

← اگر ولتاژ ۷۰mv ها افزایش یابد، جریان ۱۰ برابر تغییر می‌کند.

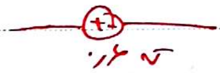
⇐ ولتاژ دیود توسط جریانش محدود می‌شود.

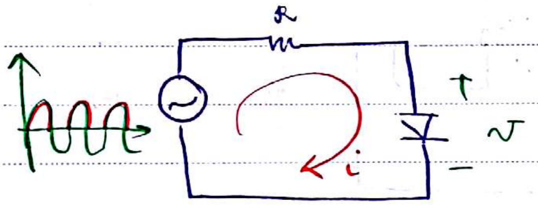


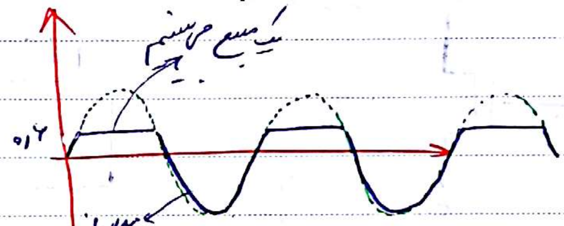
← پس برای تخمین ← ولتاژ را ثابت فرض می‌کنند.

دو حالت داریم:

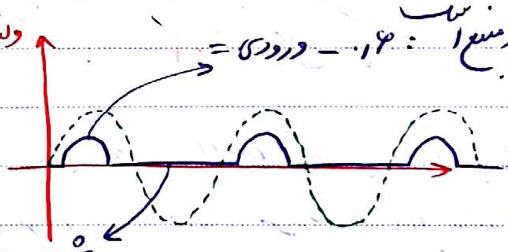
① مدار باز　I=0

② 

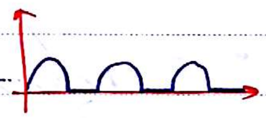




در جاهایی که دیود منبع است: ۰٫۶ − ورودی =



۰ = در جاهایی که دیود مدار باز است.

شارژرها ←  ← در نهایت آداپتور ۵v را با میانگین گیری ۲ جا می‌دهد.

← هر تعداد دیود داشتیم ← تشخیص دهیم کجاها وصله، کجا قطعه و تحلیل کنیم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

BJT ← با جریان کنترل می‌شود.

Feild Effect Transistor ... $\boxed{\text{FET}}$ ← با ولتاژ کنترل می‌شود.

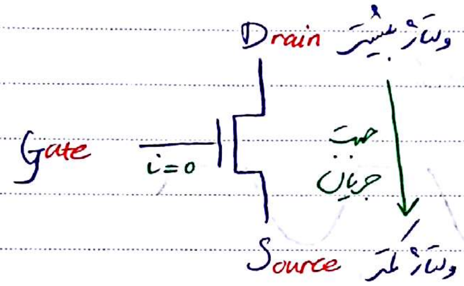
ترانزیستور

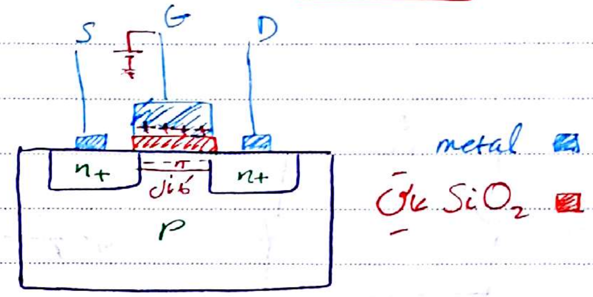
← مثل یک کلید که قطع و وصل بودنش به ولتاژ گیت مرتبط است.

FET: JFET, MosFET

Metal Oxide Semiconductor ... $\boxed{\text{MosFET}}$

نوع N





← به علت ناخالصی های n_+ ها بیشتر از p است.

← در این ساختار اگر ولتاژی به گیت اعمال نشود $V_G=0$ کلید خاموش (ترانزیستور خاموش) $I_{ds}=0$ چونکه مثل دو دیود در جهت مخالف عمل می‌کنند.

① Depletion ← با اعمال V_G ← حفره های p ناحیه ی زیر اکسید را ترک می‌کنند.

② Inversion ← با ولتاژ قابل توجه ← e های سورس و درین n+ وارد ناحیه ی ترک شده می‌شوند و آن را به n تبدیل می‌کنند ← مسیری برای جریان برقرار می‌شود.

← V_{th} (threshhold) تابع دما و ساختار فیزیکی است. اندازه: V_{th} = حداقل V_G ی که باید باشد تا کانال ایجاد شود.

← هرچه $V_G\uparrow$ ← عرض کانال ↑ ← مقاومت معادل کانال ↓ ← $I_{ds}\uparrow$

$$\overbrace{k_n \frac{W}{L}}^{\mu_n \cdot \frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}} \cdot \frac{W}{L}}$$

$$I_{ds} = k_n \frac{W}{L}\left[(V_{gs}-V_{th})V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2}\right]$$

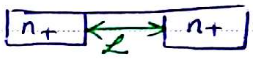
$$k_n \rightarrow \mu_n C_{ox}, \quad C_{ox} \rightarrow \frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

Mobility electron: μ_n

SiO_2 ضخامت : t_{ox}

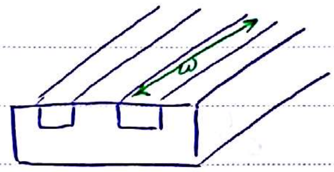
SiO_2 گذردهی : ε_{ox}

طول ترانزیستور (کانال)

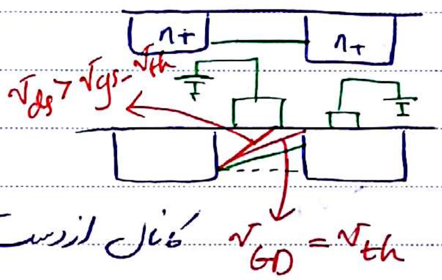


L : فاصله‌ی n+ ها

عرض ترانزیستور



W : عمق n+ ها



$V_D=V_S=0$

$V_D>0 , V_S=0$

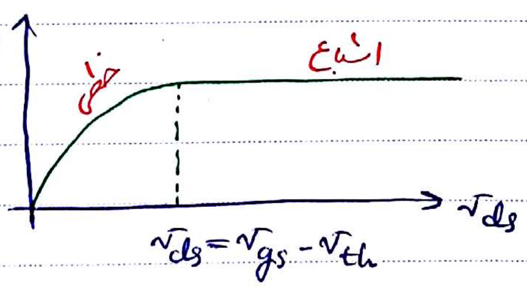
کانال از دست می‌رود.

← شرط برقراری معادله $V_{gd}\geq V_{th} \leftarrow V_{gs}-V_{ds}\geq V_{th} \leftarrow V_{gs}-V_{th}\geq V_{ds}$

$$\ldots\ldots \underbrace{\left[(V_{gs}-V_{th})V_{ds}-\frac{V_{ds}^2}{2}\right]}_{}$$

$$\xrightarrow{max} = (V_{gs}-V_{th})(V_{gs}-V_{th})-\frac{(V_{gs}-V_{th})^2}{2}=\frac{1}{2}(V_{gs}-V_{th})^2$$

$V_{gs}-V_{th}<V_{ds} \longrightarrow I_{ds}=\frac{1}{2}k_n\frac{W}{L}(V_{gs}-V_{th})^2$ بعد از اشباع ثابته و ربطی به V_{ds} نداره.

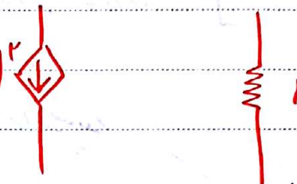


← ناحیه‌ی لوله است ← شتاب e به آن اجازه می‌دهد که از حفره عبور کند

← چرا ثابت است؟ چون میدان الکتریکی ثابت است.

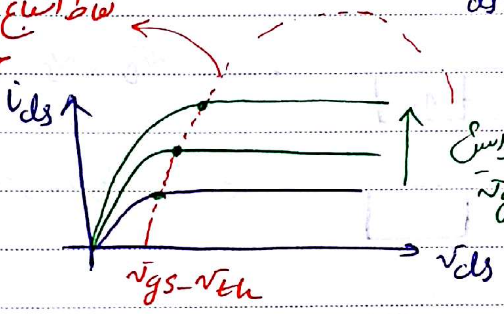
← در ناحیه‌ی خطی با تخمین می‌توانیم به جای ترانزیستور مقاومت بگذاریم.

← در ناحیه‌ی اشباع به جای ترانزیستور دقیقاً منبع جریان وابسته داریم.



$$R_{ds}=\frac{1}{k_n\frac{W}{L}(v_{gs}-v_{th})}$$

با صرف نظر از v_{ds}



سه وضعیت کاری ترانزیستور

nMOS:
PMOS همه اعداد منفی

① خاموش $v_{GS} < v_{th}$ ($>$ منفی)

② روشن $v_{GS} \geq v_{th}$ ($\leq$) خطی $v_{DS} < v_{GS}-v_{th}$ ($\geq$)

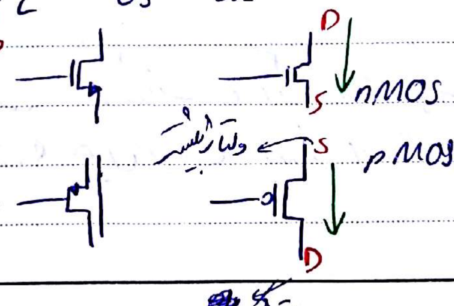
③ روشن $v_{GS} \geq v_{th}$ ($\leq$) اشباع $v_{DS} \geq v_{GS}-v_{th}$ ($<$)

② $I_{DS}=k'_n\frac{W}{L}\left[(v_{GS}-v_{th})v_{DS}-\frac{1}{2}v_{DS}^2\right]$ (k'_p)

③ $I_{DS}=\frac{1}{2}k'_n\frac{W}{L}(v_{GS}-v_{th})^2$ (k'_p)

قابلیت تحرک حفره

$$k'_p=\mu_p\cdot\frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}}$$



کانال از جنس n ←

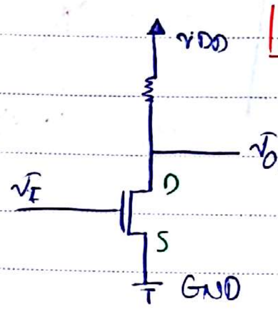
کانال از جنس p ←

$\mu_n \simeq 2-3\mu_p$ ← به ازای شرایط برابر، جریان pmos ۲ الی ۳ برابر جریان کمتری دارد.

① $V_I < V_{th}$ خاموش $I_{DS}=0$

② $V_I > V_{th}$ روشن $I_{DS}>0$

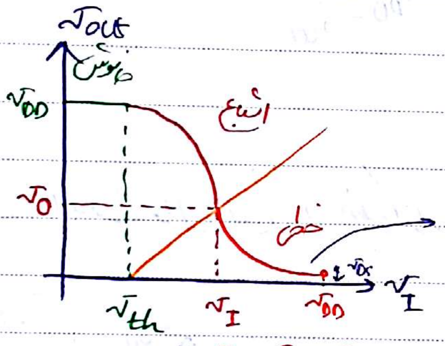
NOT



$$I_{DS}=K(V_I-V_{th})^2$$

$$V_{out}=V_{DD}-RI_{DS}=V_{DD}-R.k.(V_I-V_{th})^2$$

③ خطی ، $V_O=V_{DD}-R.2k\left[(\underbrace{V_I}_{V_{GS}}-V_{th})\underbrace{V_O}_{V_{DS}}-\frac{1}{2}V_O^2\right]$

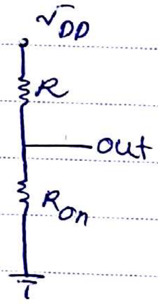


به صفر نمی‌رسد.

$V_O=V_I-V_{th}$?

$$V_{out}=V_{DD}\cdot\frac{R_{on}}{R_{on}+R}$$

$R_{on}\to 0$ ، $R_{on}+R \to \infty$

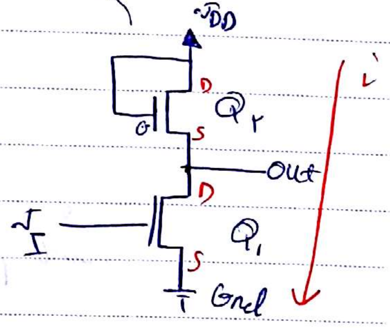


$V_{DS}=V_{GS}$ ← اگر روشن باشد اشباع است.

① $V_I < V_{th}$ Q_1: خاموش $I_{DS}=0$

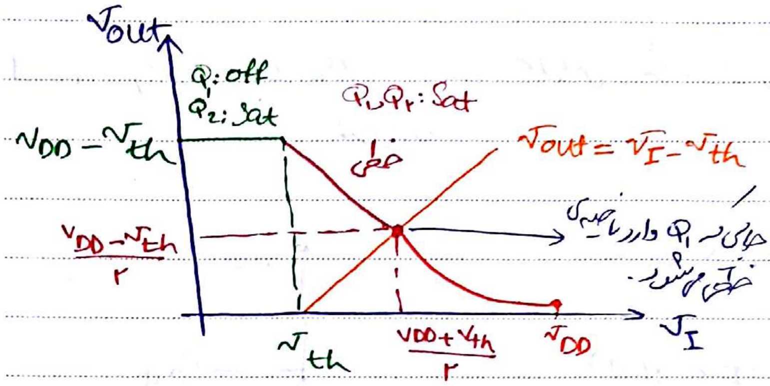
Q_2: روشن اشباع ← $I_{DS}=k(\underbrace{V_{GS}-V_{th}}_{V_{GS}=V_{th}})^2$

I_D ↙



$\Rightarrow V_{out}=V_{DD}-V_{th}$ → نمی‌تواند خودش را خاموش کند ← نمی‌تواند از این بیشتر شود.

Subject:
Year. Month. Date. ( ) ۴۵



(۲) $V_I \geq V_{th}$ ، Q_1: اشباع

Q_2: اشباع Sat

$$k_1(V_{GS_1}-V_{th_1})^2 = k_2(V_{GS_2}-V_{th_2})^2$$

$V_{GS_1} \to V_I$ ، $V_{GS_2} \to V_{DD}-V_{th}$

⇐ رابطه بین V_I و V_O خطی است.

(۳) Q_1: خطی ، Q_2: اشباع

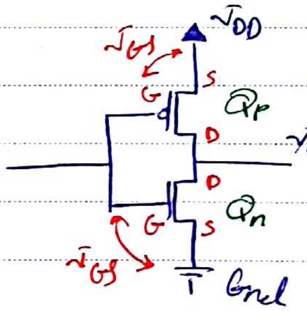
$$2k_1\left[(V_{GS_1}-V_{th_1})V_{DS_1} - \frac{1}{2}V_{DS_1}^2\right] = k_2(V_{GS_2}-V_{th_2})^2$$

$V_{GS_1} \to V_I$ ، $V_{DS_1} \to V_{out}$ ، $V_{DS_1}^2 \to V_{out}^2$ ، $V_{GS_2}-V_{th_2} \to V_{DD}-V_{out}$

⇐ V_{out} نمی‌تواند صفر شود.

← اتلاف توان این مدار خیلی کمتر از قبلی است، اگرچه اختلاف ولتاژ را خراب کرده.

NOT



$V_I = 0$ (V) Q_n: off Q_p: on $I = 0$

$V_{DS} = 0 \Rightarrow V_{out} = V_{DD}$

$V_I = V_{DD} \to$ Q_n: on Q_p: off $I = 0$

$V_{DS} = 0 \to V_{out} = 0V$

← در دو صورت جریان صفر است ← توان استاتیک ندارد.

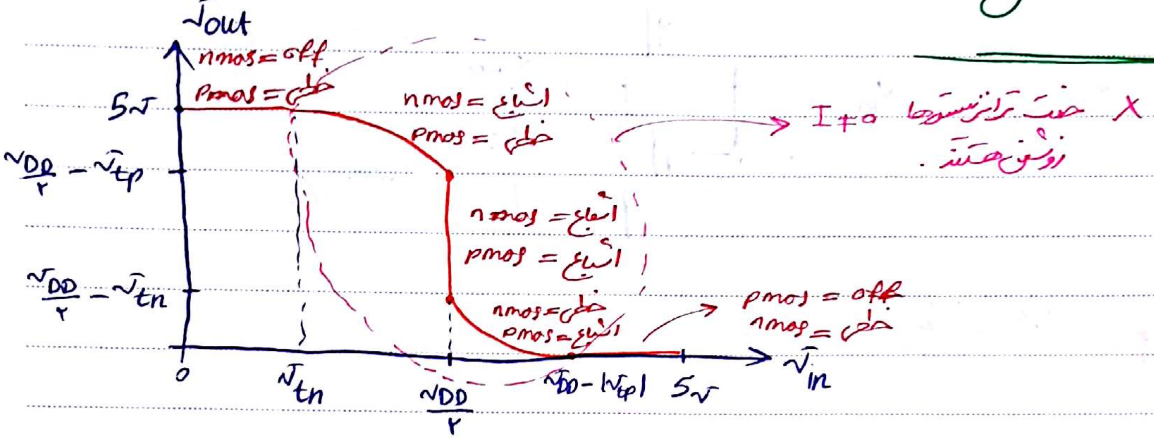
منطق CMOS ← ماشین حساب ← تابع مثلثاتی را انجام می‌دهیم.

← وجود نویز ← باعث می‌شود سطح ولتاژ، آن مقداری که ما می‌خواهیم نباشد.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

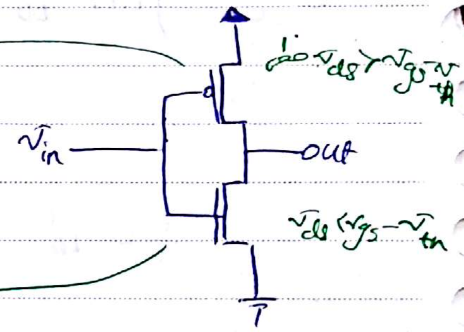
منحنی مشخصه انتقال



اشباع $V_{ds} < V_{gs} - V_{tp}$

$$-V_{DD} + V_{out} < V_{in} - V_{DD} - V_{tp}$$

$$V_{out} < V_{in} - V_{tp}$$



اشباع $V_{ds} > V_{gs} - V_{tn}$

$$V_{out} > V_{in} - V_{tn}$$

$$I_{ds_n} = \underbrace{\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}} (V_{gs} - V_{tn})^2$$

$= V_{in} - 0V$

$$I_{ds_p} = \underbrace{\frac{1}{2} k'_p \frac{W}{L}} (V_{gs_p} - V_{tp})^2$$

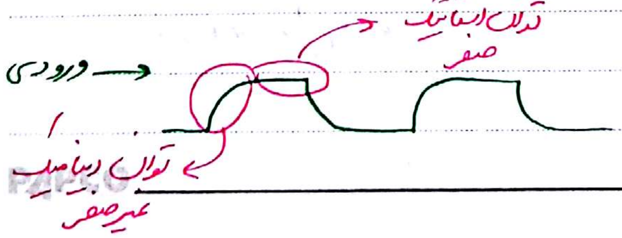
$= V_{in} - V_{DD}$

$$V_{in} - 0V - \cancel{V_{tn}} = V_{DD} - V_{in} - \cancel{|V_{tp}|}$$

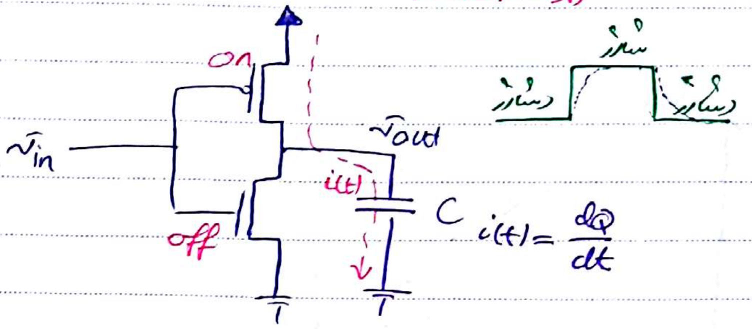
$$V_{in} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$\frac{V_{DD}}{2} - \underset{-0.7}{V_{tn}} < V_{out} < \frac{V_{DD}}{2} - \underset{+0.7}{V_{tp}}$$

توان مصرفی به تغییرات سیگنال



$P = i(t) \cdot V_{DD}$



$E_{\text{شارژ}} = \int i(t) \cdot V_{DD} = V_{DD} \cdot \int i(t) = V_{DD} \cdot \int i(t) = V_{DD} \cdot Q_C = V_{DD} \cdot C \cdot V_{DD}$

انرژی که از منبع گرفتیم

$= \boxed{CV_{DD}^2}$

$E_C = \frac{1}{2} C V_{DD}^2 \longrightarrow$ نصف انرژی در خازن ذخیره می‌شود.

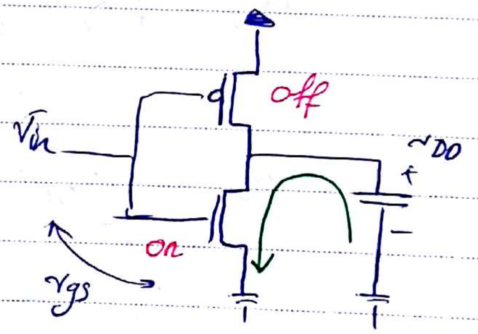
انرژی که در خازن ذخیره شده

← ترانزیستور در جاهایی که خطی است، مانند مقاومت عمل می‌کند و توان اتلافی دارد.

⇐ نصف انرژی که از منبع گرفتیم، در ترانزیستور pmos تلف می‌شود.

انرژی خازن در nmos تلف می‌شود.

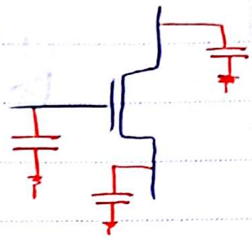
در دو مرحله CV_{DD}^2 را در دو ترانزیستور p و n تلف کردیم. ⇐ CV_{DD}^2 ← انرژی مصرفی مدار.



$\boxed{P} = \frac{E}{T} = E \cdot F = \boxed{CV_{DD}^2 \cdot F} \longrightarrow$ رابطه‌ی توان با f (فرکانس)

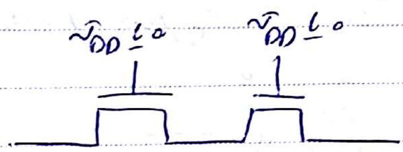
هر چه بخواهیم فرکانس را بالا ببریم، به همان نسبت توان افزایش می‌یابد.

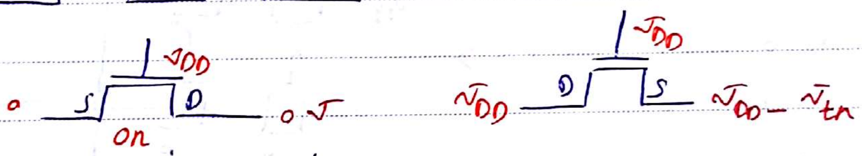
← پایه های مختلف ترانزیستور ، خازن های معادل دارند



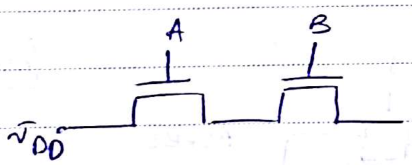
← ساخت منطق با استفاده از ترانزیستورها

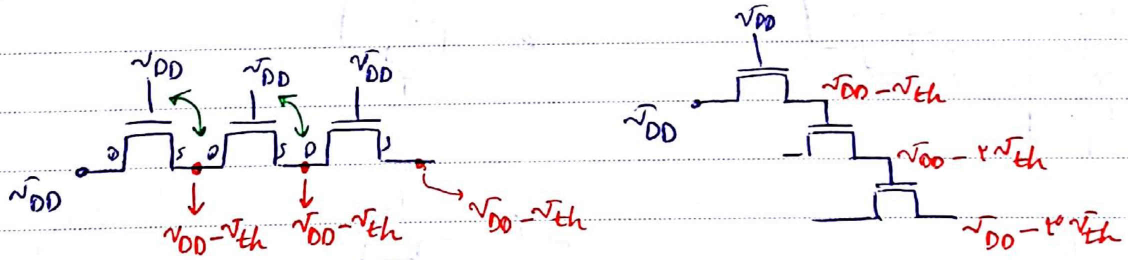
trasmission gate ← $\boxed{TG}$

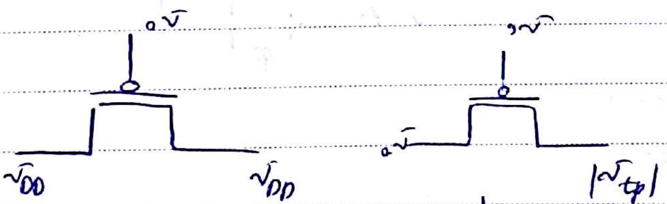


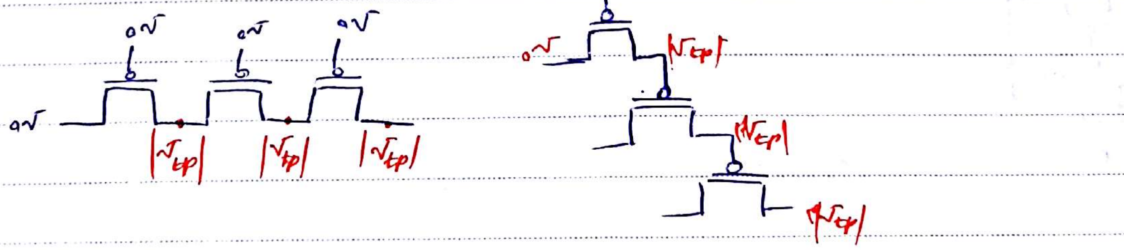


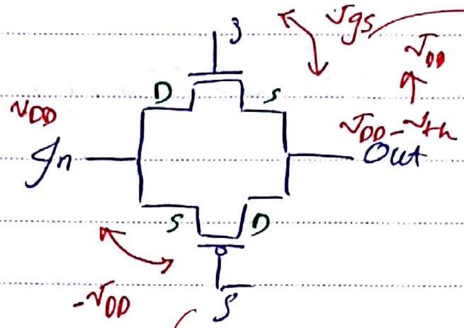
اگر gate ، V_{DD} باشد ⇐ مثل سوییچ عمل می‌کنند





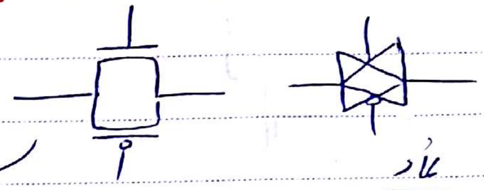






در عبور دادن صفر خوب عمل می‌کنند.

در عبور دادن V_{DD} خوب ظاهر می‌شود.



نماد

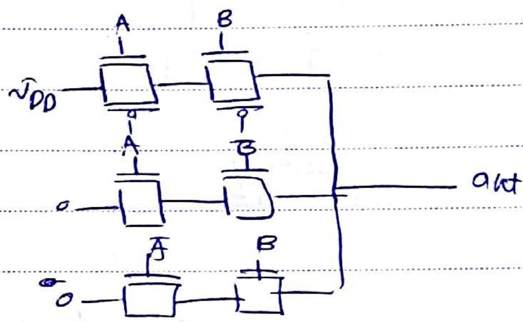
دروازه‌ی انتقال

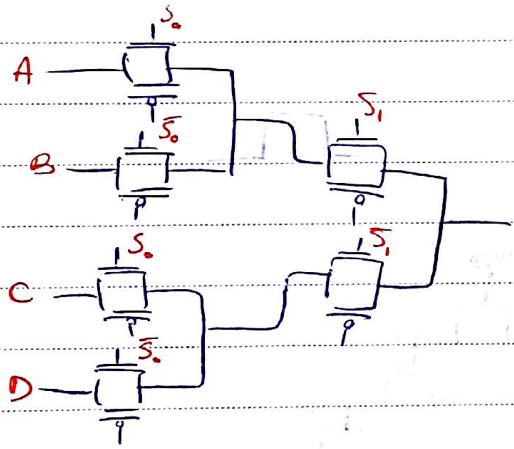
trasmission gate

TG

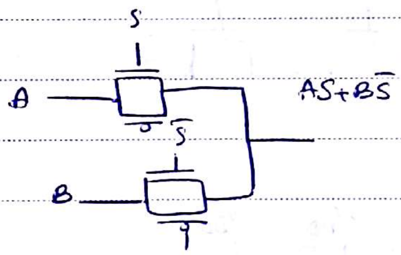
با استفاده از جدول صحت در ساخت گیت‌ها.

A	B	AND
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0



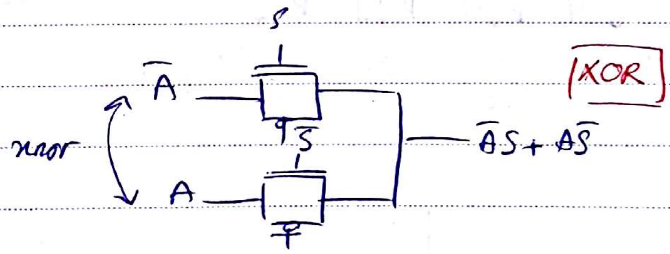


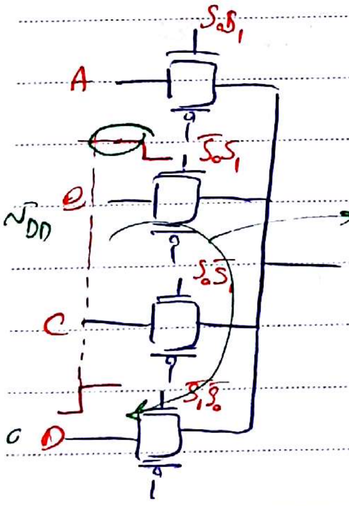
MUX



mux 2_1

XOR



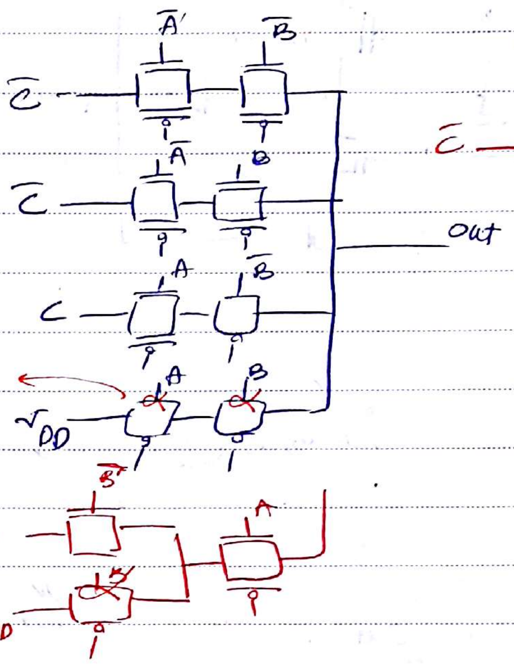


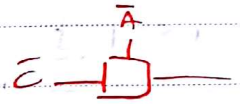
وصل کردن خروجی‌ها به سوئیچ!

Subject:
Year. Month. Date. ( )

A	B	F
0	0	$\bar{C}$
0	1	$\bar{C}$
1	0	C
1	1	1

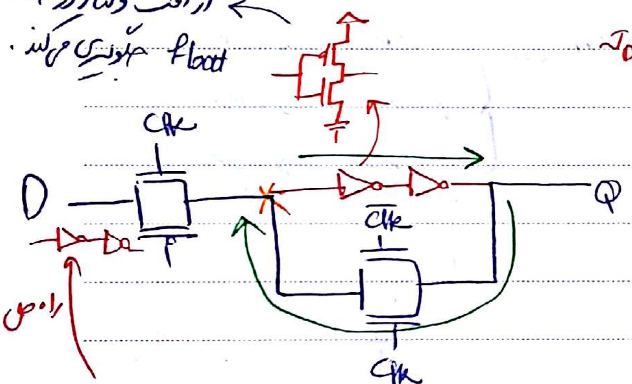
$F = AB + A\bar{B}C + \bar{A}\bar{C}$





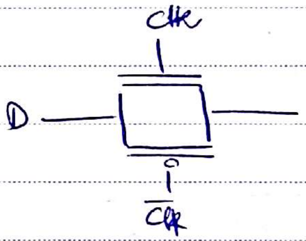
nmos را می‌توان حذف کرد چون می‌دانیم ورودی V_{DD} است ⟸ نیازی به pmos برای عبور صفر نیست.

از افت ولتاژ در حالت float جلوگیری می‌کند.



راه حل

DLatch



وقتی قطع است مقدار خروجی ثابت است و همان مقدار قبلی است.

← اگر ورودی نویز داشته باشد هم چنان در خروجی نویز خواهیم داشت.

← ۱۸ تا ترانزیستور

← پایه‌ی ساخت DRAM ها ⟸ خازن‌ها مدام refresh می‌شوند.

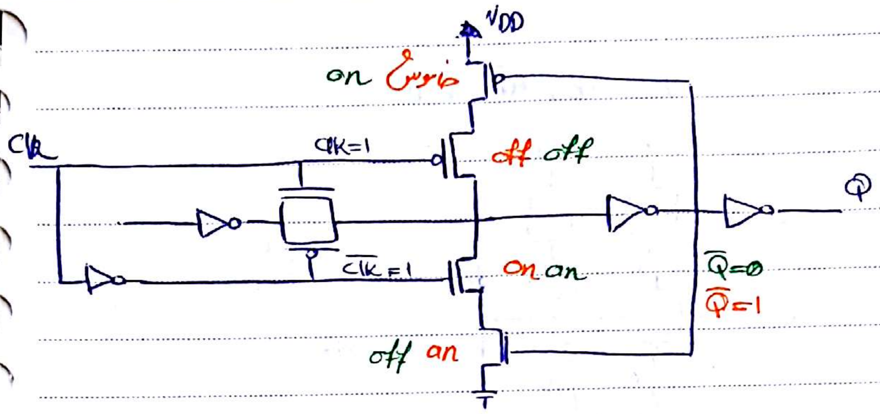
← برای ff ⟸ دوتا از این‌ها پشت هم می‌گذاریم ← مدار منطقی

← در TG ، خروجی مستقیم از ورودی می‌آید. بنابراین از مقدار سیگنال جریان می‌کشیم ← ① تضعیف مقدار ↑
← ② سیگنال‌ها در معرض افت ولتاژ

← not gate ← ورودی کنترل کننده است ولی خروجی مستقیم به ورودی وصل نیست و به منبع وصل است.

X ← در نقاط تغییر وضعیت clk و $\overline{clk}$ ممکن است هم‌پوشانی اتفاق بیفتد ⟸ دو مسیر که می‌خواهند به این نقطه مقدار دهند ← رقابت

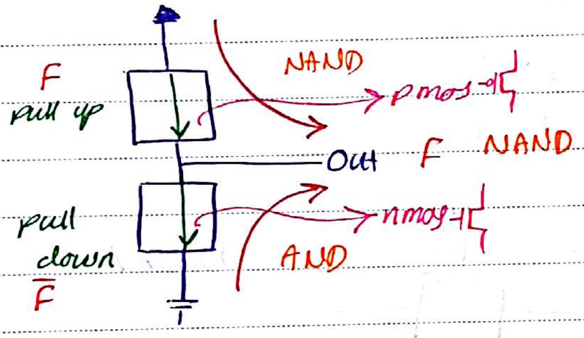
Subject:
Year.　　Month.　　Date.　( )



← مشکل overlap را ندارد.

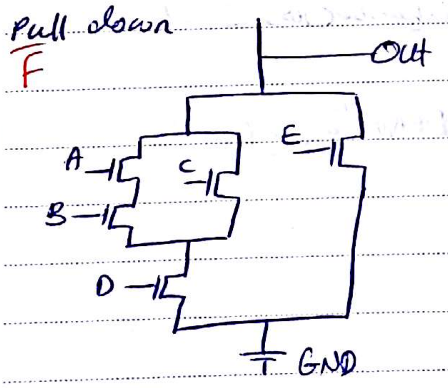
$\boxed{\text{CMOS}}$

← مقدار را از منبع تغذیه بگیریم نه از ورودی . جریان از ورودی نکشد

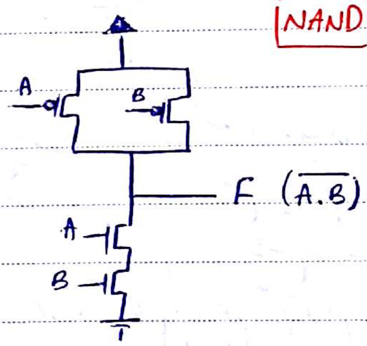


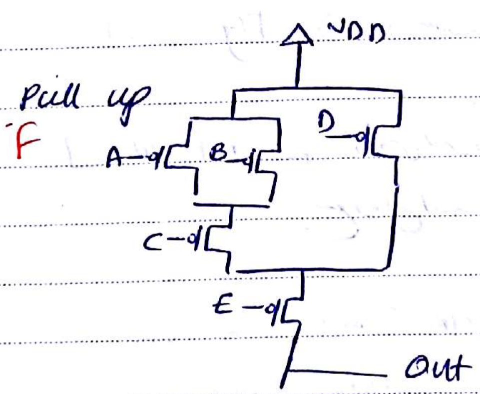
قانون دوگان ← { OR ↔ AND
pmos ↔ nmos
موازی ↔ سری }
+ ·

$$F = \overline{(A.B + C)D + E}$$

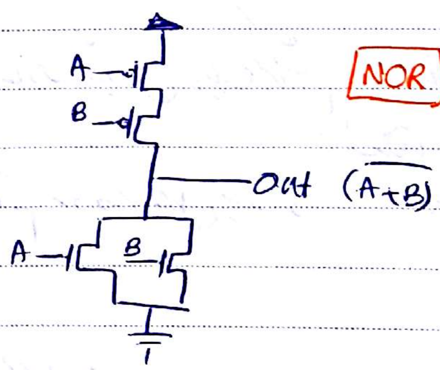


$\boxed{\text{NAND}}$





$\boxed{\text{NOR}}$

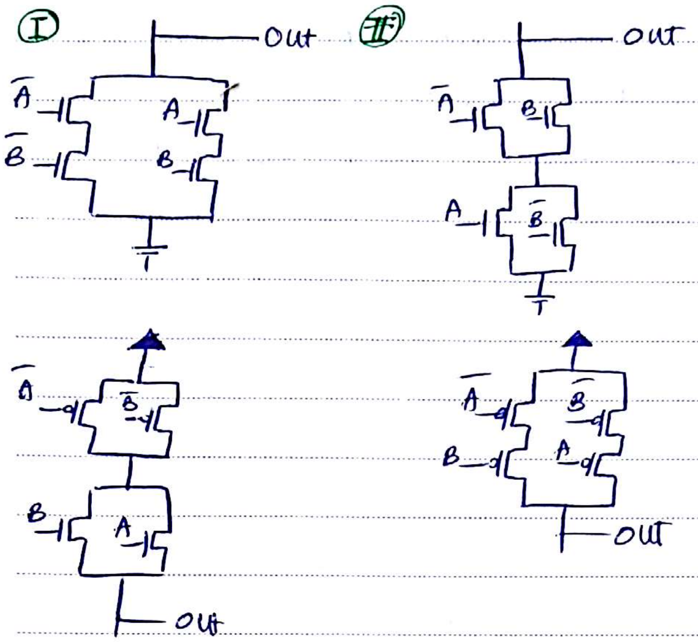


XOR

$XOR = A\bar{B} + \bar{A}B$

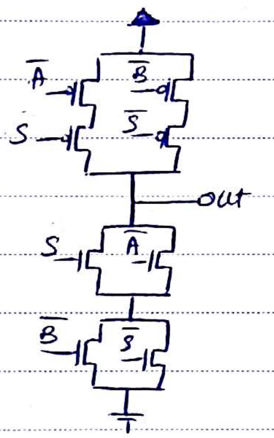
(I) pull down $\xrightarrow{XNOR}$ $\bar{A}\bar{B} + AB$

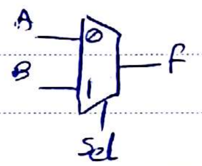
(II) pull down $\xrightarrow{\text{دمورگان}}$ $(\bar{A}+B).(A+\bar{B})$



MUX

$F = A\bar{S} + BS$



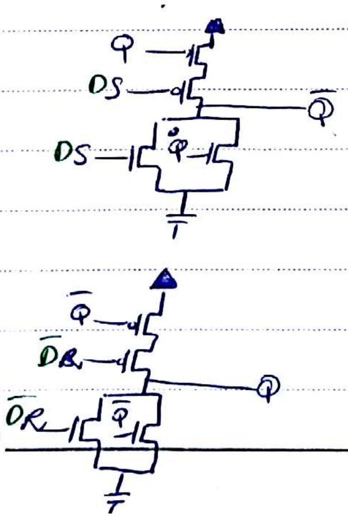


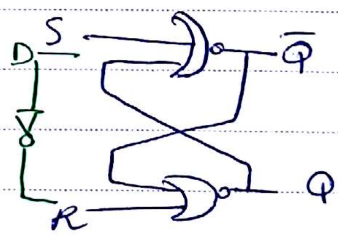
X ← در منطق CMOS ← هم f باید ساخته شود هم $\bar{F}$ ← دوباره کاری

✓ ← از ورودی فقط در جهت کنترل اتصال خروجی به V_{DD} و GND استفاده می‌شود و مستقیماً به خروجی وصل نیست. نویز از ورودی به خروجی وصل نمی‌شود. خروجی فقط از منابع جریان می‌کشد.

⇐ مدار پایدار.

SR_LATCH

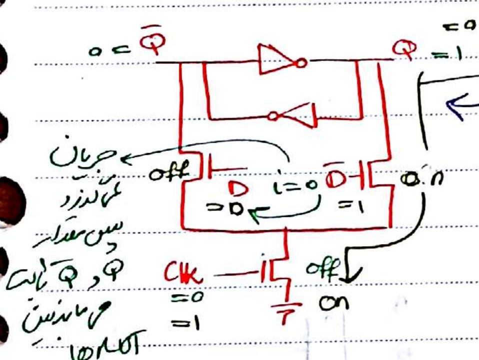


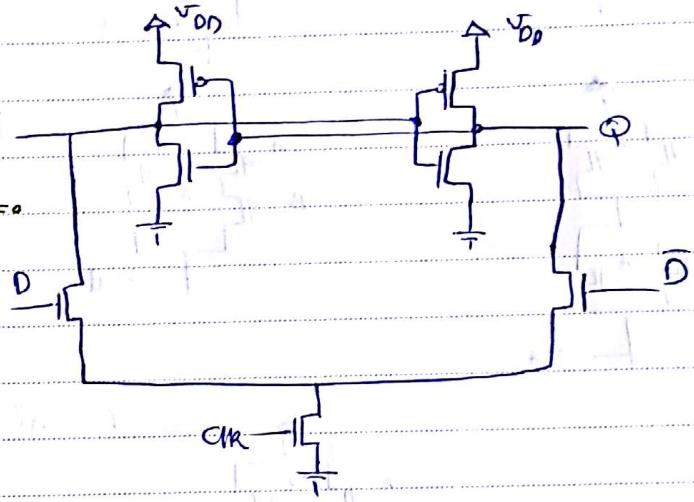


Subject:
Year.　　Month.　　Date.　　(　)

← بدیهی ترین روش ساخت قطعات ترتیبی ← معادل لیست اجزاء ترانزیستورها ← غیر است

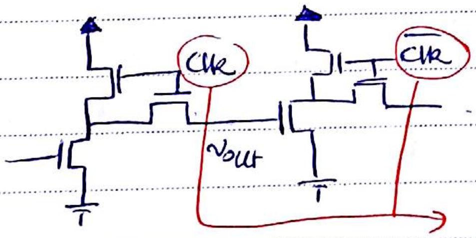
← چون برای not کردن A و B باید ۴ ترانزیستور مصرف می‌شود اما برای ... نات کردن خروجی ۲ ترانزیستور نیاز است ← از NAND و NOR به جای AND و OR استفاده می‌شود.



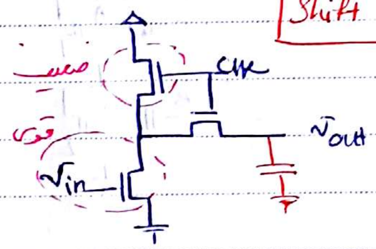


$CLK=1:\ \begin{cases} D=1 \longrightarrow \bar{Q}=0 \\ \bar{D}=1 \longrightarrow Q=0 \end{cases}$

Shift Register

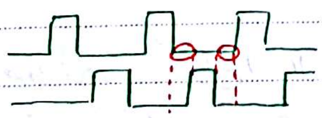


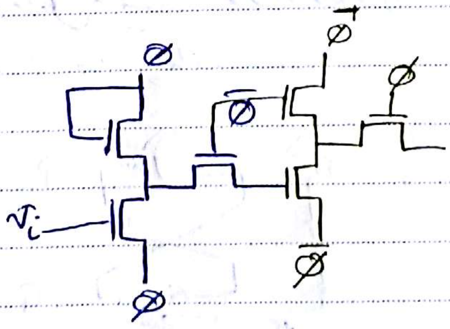
بیت هم ← قرار دادن



برای اینکه در هر لحظه فقط یک بیت رد شود.

برای اینکه overlap ها CLK پیدا نکنند →





precharge → زمانی که $\phi = 1$ ← خروجی به صورت پیش‌فرض یک می‌شود.

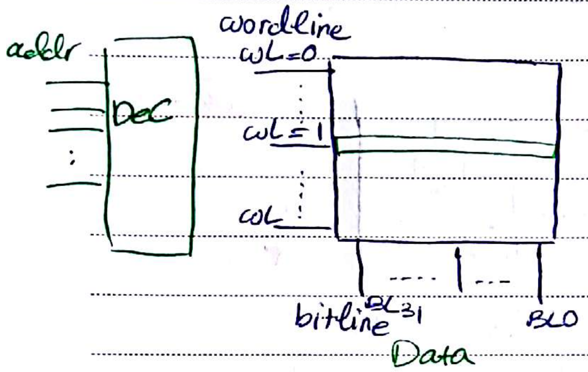
Evaluate → براساس ورودی ← $\phi = 1$ تصمیم گرفته می‌شود که خروجی یک باشد یا صفر شود.

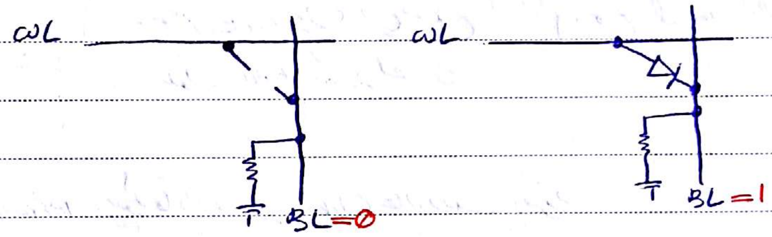
از سیگنال CR ... منبع تغذیه استفاده می‌شود که از دست رفتن ولتاژ.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

- حافظه
  - ROM
    - ROM
    - PROM
    - EPROM
    - E^2PROM
  - RAM

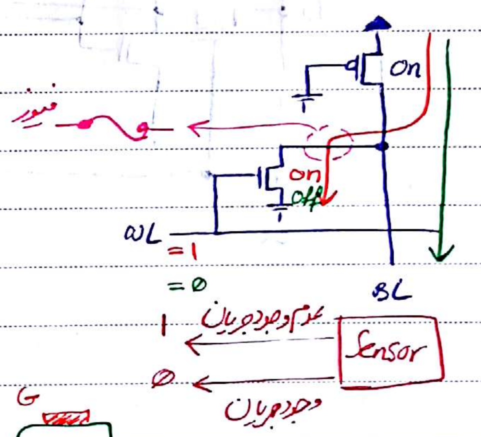


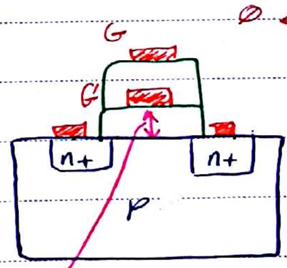


PROM

به طور پیش‌فرض تمام بیت‌ها یک هستند. موقع برنامه‌ریزی، برای نوشتن صفرها، دیودها را می‌سوزانند (با عبور جریان زیاد)

مشکل ← برای ایجاد بین WL و BL جریان می‌گیرند ← مدار کند می‌شود و توان بالا است.





EPROM

G' چون به کانال نزدیک‌تر است، کنترل آن در حالت خاصی، باعث می‌شود حتی اگر G یک باشد ترانزیستور خاموش باشد و جریان از آن عبور نکند.

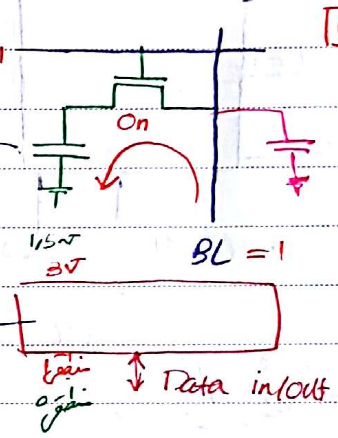
EPROM ← 100nm

E^2PROM ← ۲۵nm

Subject: Subject
Year. Month. Date. ( )
Year Month Date

Dynamic RAM ⟵ DRAM ⟵ RAM
Static RAM ⟵ SRAM ⟵

DRAM

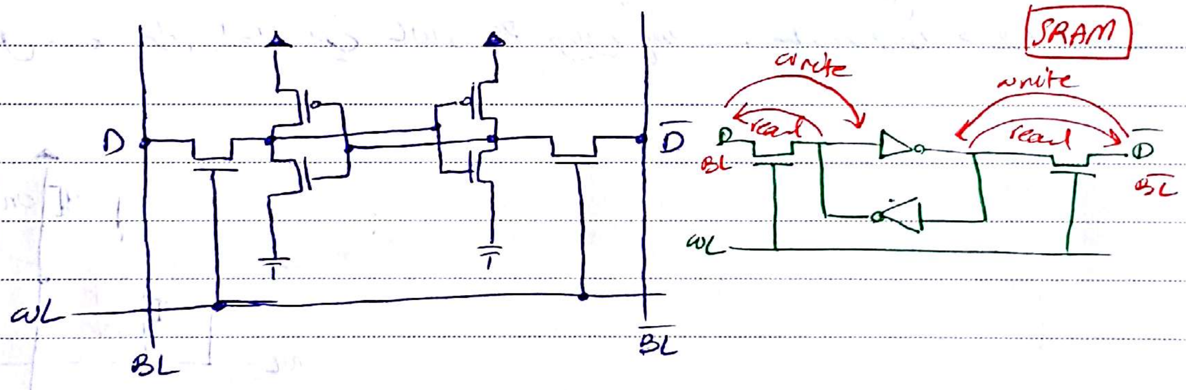


اگر اندازه این خازن را بزرگ در نظر بگیریم ⟵ موقع write کردن زمان بیشتری برای شارژ آن می‌گیرد.

⟵ موقع write کردن این مشکل را نداریم، موقع read به وجود می‌آید و بدون این بلوک RAM کار نخواهد کرد.

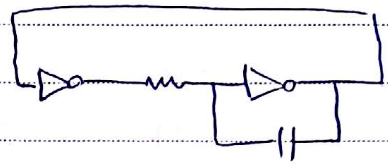
⟵ هر چند وقت یکبار refresh می‌شود تا داده روی خازن‌ها از دست نرود.

SRAM

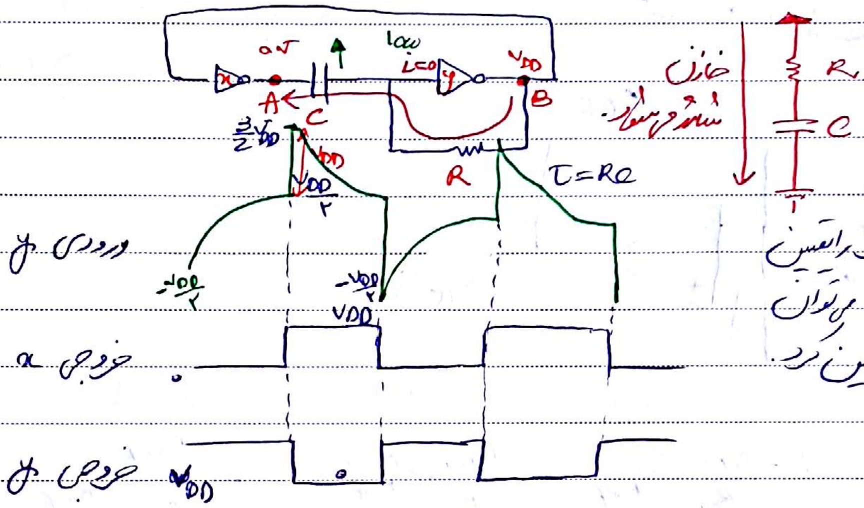


Subject:
Year. Month. Date. ( )

نوسان سازها (Vibrators)



مولتی ویبراتورها



خازن شارژ و تخلیه می‌شود.

RC مدار، طول هر شارژ خازن را تعیین می‌کند ← با تغییر RC، می‌توان فرکانس نوسان را تعیین کرد.

← دشارژ

$$v(0) = \frac{3}{2} V_{DD}$$

$$v(\infty) = 0$$

$$v(t) = \underbrace{v(\infty)}_{0} + \Big(\underbrace{v(0)}_{\frac{3}{2}V_{DD}} - \underbrace{v(\infty)}_{0}\Big) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{V_{DD}}{2} = \frac{3}{2} V_{DD} e^{-\frac{t}{\tau}} \longrightarrow 3 e^{-\frac{t}{RC}} = 1 \longrightarrow t = RC\ln 3$$

$$\text{period} = 2RC\ln 3$$

مبدل ها

آنالوگ ← زمان پیوسته ـ مقدار پیوسته

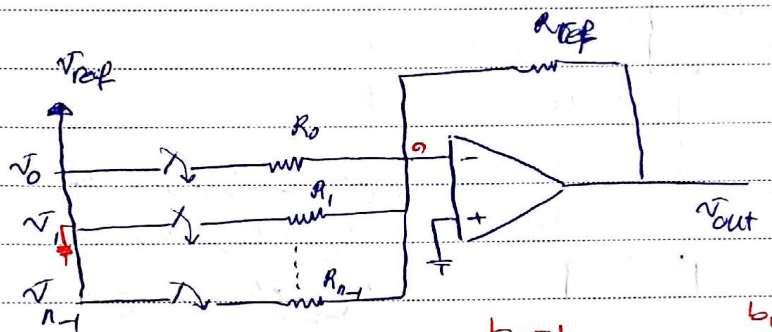
دیجیتال ← زمان گسسته ـ مقدار گسسته

مهندسی دیجیتال ← زمان پیوسته ـ مقدار گسسته

A/D A2D

D/A D2A

$\boxed{D/A}$



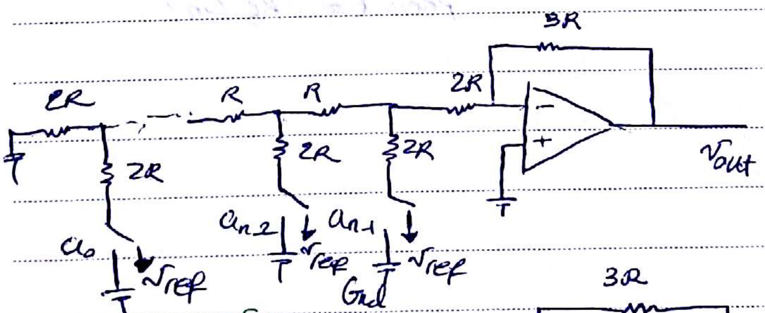
اصل جمع آثار →
$$v_{out} = \underbrace{-\frac{R_{ref}}{R_0} v_{Ref}}_{b_0=1} - \underbrace{\frac{R_{ref}}{R_1} v_{Ref}}_{b_1=1} \cdots - \underbrace{\frac{R_{ref}}{R_{n-1}} v_{Ref}}_{b_{n-1}=1}$$

$$= -R_{ref}\, v_{Ref} \left(\frac{b_0}{R_0} + \frac{b_1}{R_1} + \cdots + \frac{b_{n-1}}{R_{n-1}} \right)$$

در ساده سازی →
$$R_i = \frac{R_{ref}}{2^i} \qquad = \boxed{-v_{Ref} \underbrace{\sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i}}$$

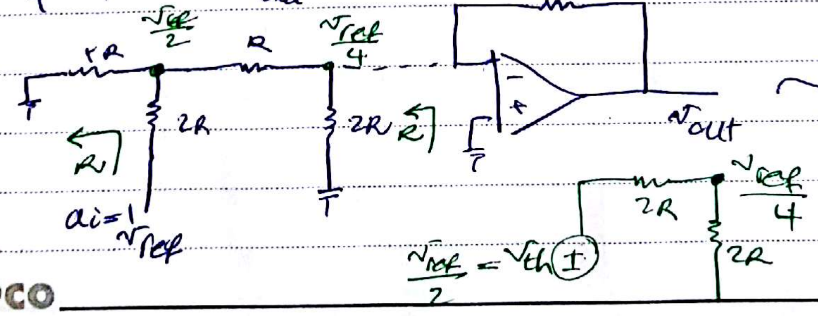
از نظر ساخت مقاومت های دقیق نسبت مقاومت ها به آن نیاز داشته باشیم.

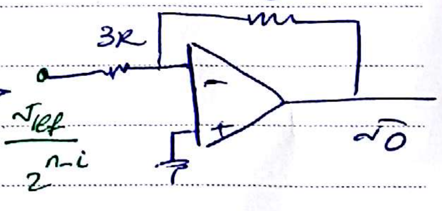
تبدیل عدد باینری به دیجیتال



مقاومت تونن از ۴ از هر جای مدار ← 2R

$R_{th} = 2R \quad v_{th} = v_{ref}/2$

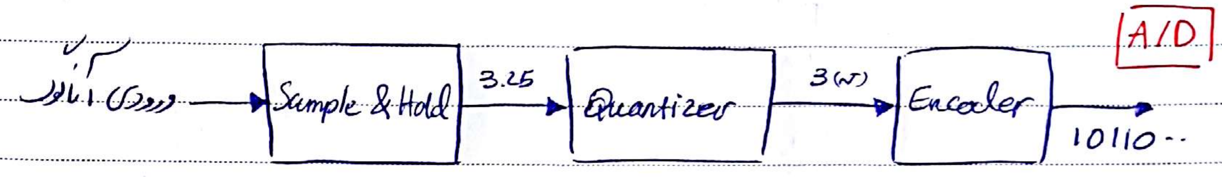


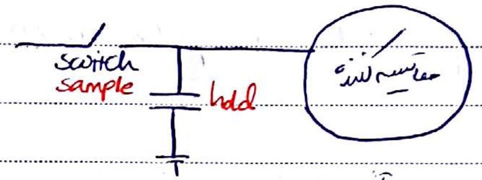


D2A

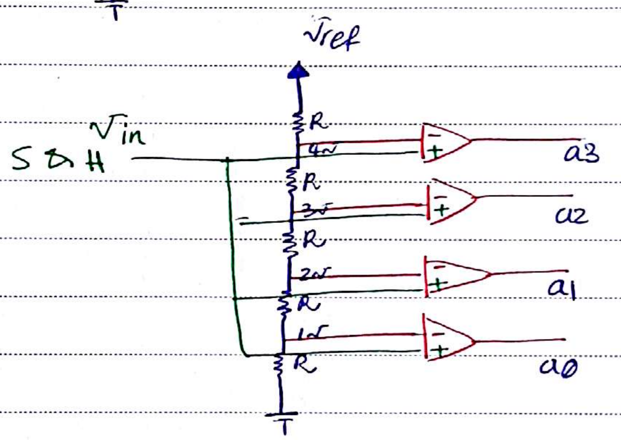
$$V_0 = -\frac{V_{ref}}{2^{n-i}} \rightarrow V_0 = \sum -\frac{V_{ref}}{2^{n-i}} a_i = \boxed{\frac{-V_{ref}}{2^n} \sum a_i 2^i}$$

A/D



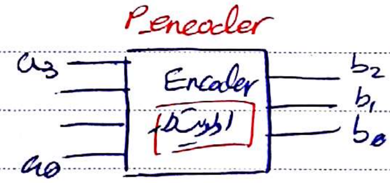


مقایسه کننده →



$a_3a_2a_1a_0$	V_{in}
0000	<1
0001	1< <2
0011	2< <3
0111	3< <4
1111	4< <5

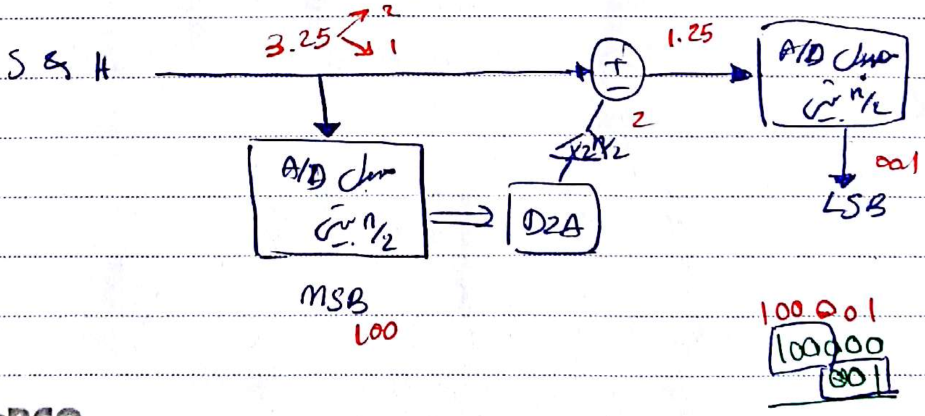
encoder →



$a_3a_2a_1a_0$	$b_2b_1b_0$
0000	000
0001	001
0011	010
0111	011
1111	100

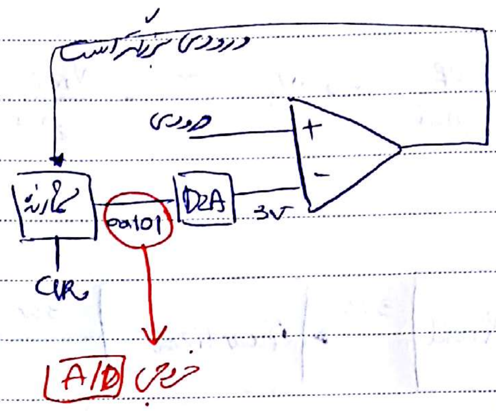
$\boxed{X}$ nbit ← $2^n - 1$ مقایسه کننده ← اینجا است فضاگیر. X

$\boxed{✓}$ سرعت بالا ← چون ورودی را همزمان با همه سطوح مقایسه میکنیم.



2^n مقایسه کننده

$2 \times 2^{n/2}$



پس شمارنده Up/Down بذاریم. در هر جایی هستیم بعدی را از همانجا شروع کنیم.