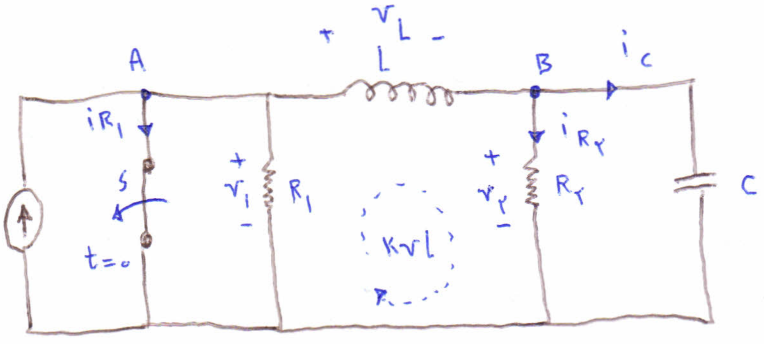
مهدی عبداللهی
۹۲۴۱۳۰۵۹

۱) در مدار شکل زیر، S برای مدت طولانی بسته بوده است و در لحظه $t=0$ باز می‌شود. مقادیر v_1 ، v_2 ، $\frac{dv_1}{dt}$ ، $\frac{dv_2}{dt}$ ، $\frac{d^2 v_2}{dt^2}$ را در لحظه $t=0^+$ حساب کنید.



$$t>0 \rightarrow KCL @ A : i_{R_1} + i_L = I_s \rightarrow \frac{v_1(t)}{R_1} = I_s - i_L(t)$$

$t<0$ با توجه به وجود کلید در : $i_L(0^-) = 0$ و $v_C(0^-) = 0$

★ جریان سلف و ولتاژ خازن تغییرات ناگهانی نمی‌پذیرند : $i_L(0^+) = 0$ و $v_C(0^+) = 0$

★ در لحظه $t=0^+$ داریم:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{v_1(0^+)}{R_1} = I_s - i_L(0^+) \\ i_L(0^+) = 0 \end{array}\right\} \rightarrow \frac{v_1(0^+)}{R_1} = I_s \rightarrow \boxed{v_1(0^+) = R_1 I_s}$$ جواب

$$v_2(t) = v_C(t) \xrightarrow{t=0^+} \left\{\begin{array}{l} v_2(0^+) = v_C(0^+) \\ v_C(0^+) = v_C(0^-) = 0 \end{array}\right. \rightarrow \boxed{v_2(0^+) = 0}$$ جواب

★ $KCL @ B$:

$$i_L = i_{R_2} + i_C \rightarrow i_L = \frac{v_2(t)}{R_2} + C\frac{dv_2}{dt} \xrightarrow{t=0^+} C\frac{dv_2(0^+)}{dt} = i_L(0^+) - \frac{v_2(0^+)}{R_2} \quad (1)$$

(2) $i_L(0^+) = 0$ و $v_2(0^+) = 0$

① → ② $\boxed{\dfrac{dv_2(0^+)}{dt} = 0}$ جواب

★ با اعمال KVL در حلقه‌ی وسطی داریم:

$$v_L + v_2 = v_1 \rightarrow L\frac{di_L}{dt} + v_2 = v_1 \rightarrow L\frac{d}{dt}(i_{R_2} + i_C) + v_2 = v_1$$

$$\rightarrow L\frac{d}{dt}\left[\frac{v_2}{R_2} + C\frac{dv_2}{dt}\right] + v_2 = v_1 \rightarrow \frac{L}{R_2}\frac{dv_2}{dt} + LC\frac{d^2v_2}{dt^2} + v_2 = v_1$$

★ در لحظه‌ی $t=0^+$ داریم:

$$\left.\begin{aligned} &LC\frac{d^2v_2}{dt^2}(0^+) = v_1(0^+) - v_2(0^+) - \frac{L}{R_2}\frac{dv_2}{dt}(0^+) \\ &v_1(0^+) = R_1 I_s \text{ و } v_2(0^+) = 0 \text{ , } \frac{dv_2(0^+)}{dt} = 0 \end{aligned}\right\} \rightarrow LC\frac{d^2v_2}{dt^2}(0^+) = R_1 I_s$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{d^2v_2}{dt^2}(0^+) = \frac{R_1 I_s}{LC}}$$ جواب

★ $KCL @ A: \; i_{R_1} + i_L = I_s$

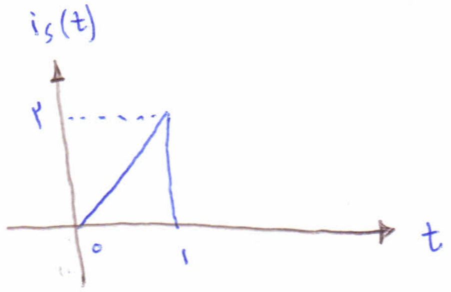
$$\xrightarrow[\text{مشتق می‌گیریم}]{\text{از طرفین رابطه بالا}} \frac{di_{R_1}}{dt} + \frac{di_L}{dt} = 0 \rightarrow \frac{1}{R_1}\frac{dv_1}{dt} = -\frac{di_L}{dt} \rightarrow \frac{dv_1}{dt} = -\frac{R_1}{L}v_L = -\frac{R_1}{L}(v_1 - v_2)$$

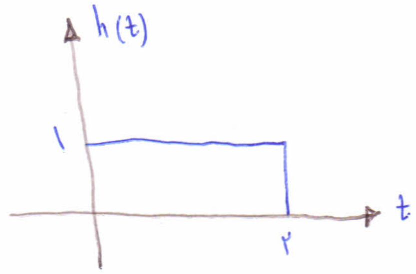
$$\left.\begin{aligned} &\rightarrow \frac{dv_1(0^+)}{dt} = -\frac{R_1}{L}\left(v_1(0^+) - v_2(0^+)\right) \\ &v_1(0^+) = R_1 I_s \text{ و } v_2(0^+) = 0 \end{aligned}\right\} \boxed{\frac{dv_1}{dt}(0^+) = -\frac{R_1}{L}(R_1 I_s - 0) = -\frac{R_1^2}{L}I_s}$$

جواب

۲) ورودی و پاسخ ضربه در هر قسمت داده شده است. خروجی را بیابید. (کانولوشن)

الف)





★ برای معادله‌ی $i_s(t)$ داریم: $i_s(t) = 2r(t) - 2r(t-1) - 2u(t-1)$

★ برای آنکه پاسخ به ورودی شیب را بدست آوریم، از پاسخ ضربه دو مرتبه انتگرال می‌گیریم و برای بدست آوردن پاسخ به ورودی پله، از $h(t)$ یک مرتبه انتگرال می‌گیریم:

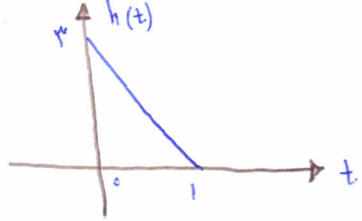
$$h(t) = \begin{cases} 0 & t<0 \\ 1 & 0<t<2 \\ 0 & t>2 \end{cases} \qquad s(t) = \begin{cases} 0 & t<0 \\ t & 0<t<2 \\ 2 & t>2 \end{cases}$$

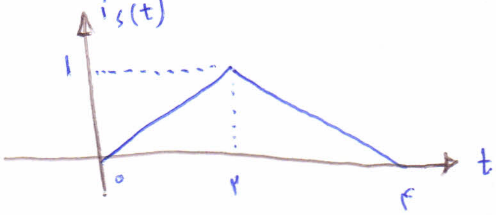
پاسخ شیب
$$G(t) = \begin{cases} 0 & t<0 \\ \frac{t^2}{2} & 0<t<2 \\ 2t-2 & t>2 \end{cases}$$

$$\rightarrow v(t) = 2G(t) - 2G(t-1) - 2s(t-1)$$

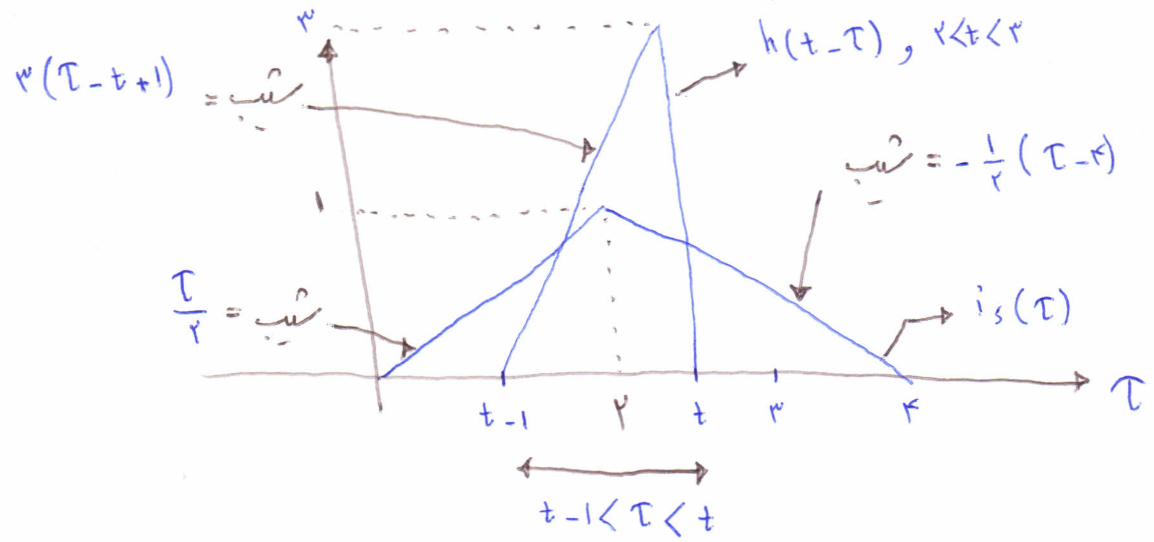
$$v(t) = \begin{cases} 0 & t<0 \\ t^2 & 0<t<1 \\ t^2-(t-1)^2-2(t-1)=1 & 1<t<2 \\ 2(2t-2)-(t-1)^2-2(t-1) = -t^2+4t-3 & 2<t<3 \\ 2(2t-2)-2(2(t-1)-2)-2(2)=0 & t>3 \end{cases}$$

ب)





★ با استفاده از روش ترسیمی داریم:



★ حال به ازای بازه‌های زمانی متفاوت، انتگرال : $\int_0^t i_s(\tau)\,h(t-\tau)\,d\tau$ را محاسبه می‌کنیم:

$$0<t<1 \rightarrow v(t)=\int_0^t \frac{1}{2}\tau\,(3-3(t-\tau))\,d\tau = -\frac{1}{4}t^3+\frac{3}{4}t^2$$

$$1<t<2 \rightarrow v(t)=\int_{t-1}^t \frac{1}{2}\tau\,(3-3(t-\tau))\,d\tau = \frac{3}{4}t^2-\frac{3}{4}t+\frac{1}{2}$$

$$2<t<3 \rightarrow v(t)=\int_{t-1}^2 \frac{1}{2}\tau\,(3-3(t-\tau))\,d\tau+\int_2^t \left(2-\frac{\tau}{2}\right)(3-3(t-\tau))\,dt$$

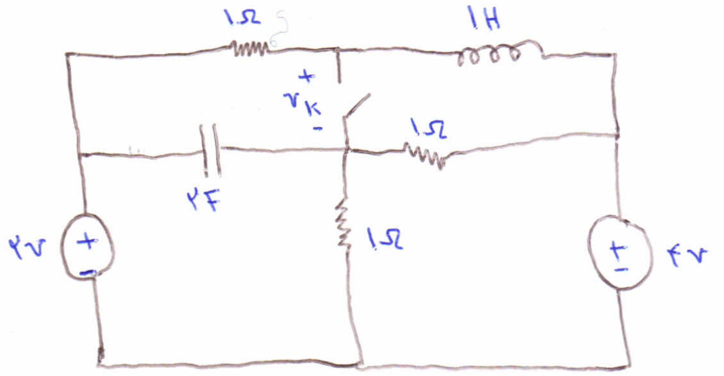
$$=\frac{1}{4}t^3-\frac{5}{2}t^2+\frac{33}{4}t-\frac{7}{2}$$

$$3<t<4 \rightarrow v(t)=\int_{t-1}^t \left(2-\frac{\tau}{2}\right)(3-3(t-\tau))\,d\tau = -\frac{t}{2}+\frac{1}{6}$$

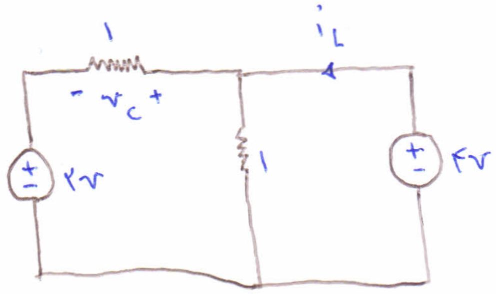
$$4<t<5 \rightarrow v(t)=\int_{t-1}^4 \left(2-\frac{\tau}{2}\right)\left(3-3(t-\tau)\right)d\tau = -\frac{t^3}{4}+\frac{15}{4}t^2-\frac{45}{2}t+\frac{113}{4}$$

$t<0$ و $t>5 \rightarrow v(t)=0$

(۳) در مدار شکل زیر کلید K به مدت طولانی بسته بوده تا مدار به حالت دائمی خود رسیده است. در لحظه $t=0$ کلید باز می‌شود، ولتاژ v_K دو سر کلید در لحظه $t=1s$ برابر چند ولت است؟



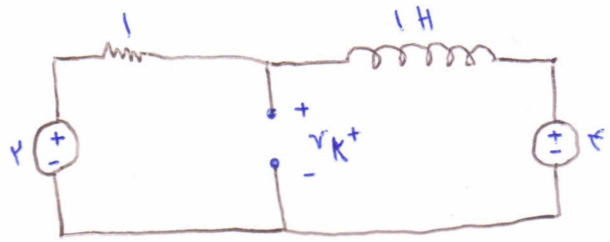
★ مدار برای $t<0$ به صورت زیر است (سلف اتصال کوتاه و خازن مدار باز)



$$v_C(0^-) = v_R = 4-2 = 2 \to v_C(0^-) = 2V$$

$$i_L(0^-) = \frac{4}{1} + \frac{4-2}{1} = 6A \to i_L(0^-) = 6A$$

★ پس از باز شدن کلید دو مدار مرتبه اول مجزا داریم که عبارتند از:

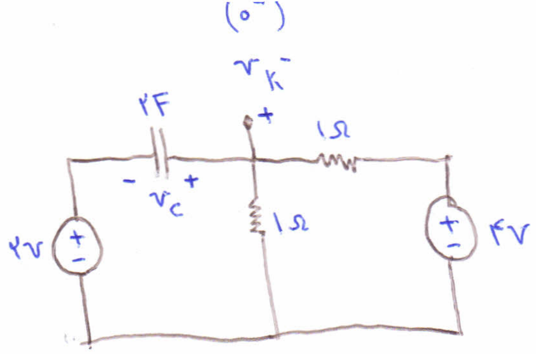


$$\left.\begin{aligned} v_K^+(0^+) &= i_L(0^+)\times 1 + 2 \\ i_L(0^-) &= i_L(0^+) = 6A \end{aligned}\right\} \to v_K^+(0^+) = 8 \,,\; v_K^+(\infty) = 4 \,,\; \tau = \frac{L}{R} = 1$$

★ با توجه به رابطه کلی مدار مرتبه اول داریم:

$$v_K^+(t) = v_K^+(\infty) + \left[v_K^+(0^+) - v_K^+(\infty)\right] e^{-\frac{t}{\tau}} \to v_K^+(t) = 4 + (8-4)e^{-t}$$

$$\to v_K^+(t) = 4(1+e^{-t})$$



★ و برای مدار دوم داریم :

$$v_C(0^-) = v_C(0^+) = ۲V \rightarrow v_K^-(0^+) = v_C(0^+) + ۲$$

$$\rightarrow v_K^-(0^+) = ۴V$$

★ و هم چنین : $\tau = RC = (۱ \| ۱) \times ۲ = ۱$ و $v_K^-(\infty) = ۴ \times \frac{۱}{۱+۱} = ۲V$

★ با توجه به رابطه‌ی کلی مدار مرتبه اول داریم :

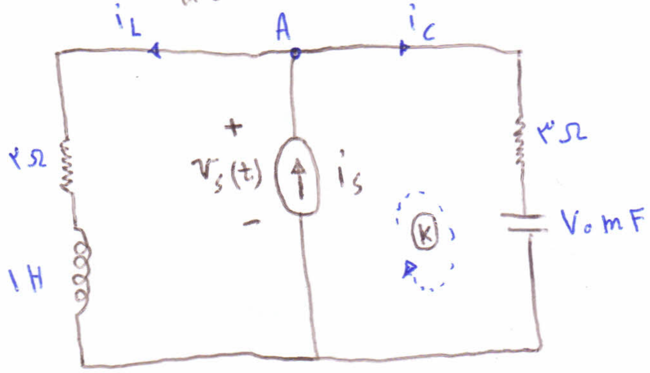
$$v_K^-(t) = ۲ + (۴-۲)e^{-t} = ۲(۱+e^{-t})$$

$$v_K(t) = v_K^+(t) - v_K^-(t) = ۴(۱+e^{-t}) - ۲(۱+e^{-t}) = ۲(۱+e^{-t})$$

$t = ۱s$ $\boxed{v_K(t=۱s) = ۲(۱+e^{-۱}) = ۲٫۷۳۵}$ جواب

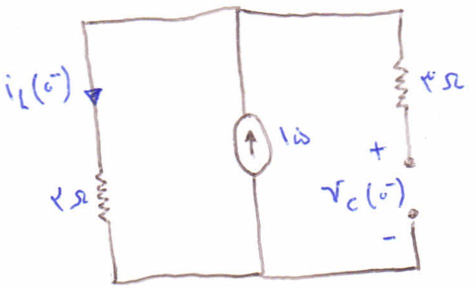
---

۴) در مدار شکل زیر در $t=0$ ناگهان منبع جریان مدار از ۱۵ آمپر می‌پرد. مقادیر $v_s(0^+)$ و $\frac{dv_s(0^+)}{dt}$ را بیابید.



$KCL @ A: I_s = I_L + I_C$

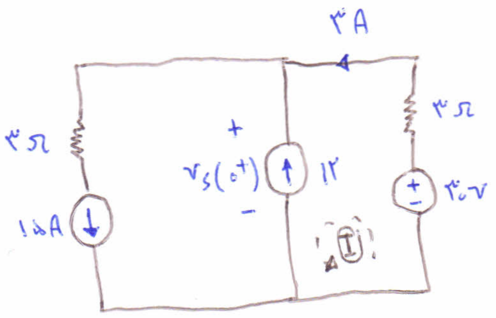
$t = 0^-$



$I_L(0^-) = I_L(0^+) = ۱۵A$

$v_C(0^-) = v_C(0^+) = ۳۰V$

$t = 0^+$



$KVL @ (I): v_s(0^+) = ۳۰ - ۹ = ۲۱V$ جواب

★ اکنون با نوشتن KVL در حلقه سمت راست مدار صورت سؤال (حلقه ⓚ) داریم :

$$v_s(t) = 3I_c(t) + v_c(t) = 3(I_s - I_L(t)) + v_c(t)$$ ← با مشتق گیری از این رابطه خواهیم داشت :

$$\frac{dv_s(t)}{dt} = -3\frac{dI_L(t)}{dt} + \frac{dv_c(t)}{dt} \rightarrow \frac{dv_s(0^+)}{dt} = \frac{dv_c(0^+)}{dt} - 3\frac{dI_L(0^+)}{dt}$$

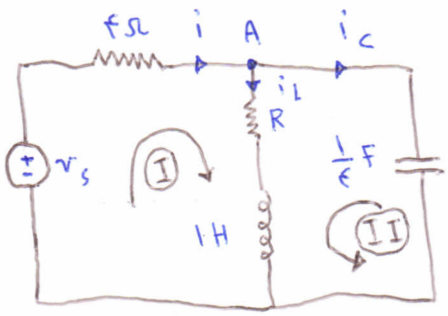
می دانیم :
$$\begin{cases} \dfrac{dI_L(0^+)}{dt} = \dfrac{v_L(0^+)}{L} \\ \dfrac{dv_c(0^+)}{dt} = \dfrac{I_c(0^+)}{C} \end{cases}$$

در مدار رسم شده در $t = 0^+$ داریم : $v_L(0^+) = -9V$ و $I_c(0^+) = 3A$

→ پس : $\boxed{\dfrac{dv_s(0^+)}{dt} = -\dfrac{300}{7} + 27 = \dfrac{-111}{7}\ \dfrac{A}{s}}$ جواب

---

۵) به ازای چه مقدار R مدار شکل زیر به حالت میرای بحرانی در می آید؟



$KCL @ A: \; i = i_c + i_L$ ①

$KVL @ (I): \; v_s = 4i + v$ ② و $i_c = \frac{1}{4}\frac{dv}{dt}$ ③

$$\xrightarrow[\text{و ③}]{\text{① و ②}} v_s = \frac{dv}{dt} + 4i_L + v \rightarrow i_L = \frac{v_s - v - \frac{dv}{dt}}{4} \quad ④$$

$KVL @ (II): \; v = Ri_L + \frac{di_L}{dt}$ ⑤

$$\xrightarrow{\text{جایگذاری ④ در ⑤}} v = R\,\frac{v_s - v - \frac{dv}{dt}}{4} + \frac{\frac{dv_s}{dt} - \frac{dv}{dt} - \frac{d^2v}{dt^2}}{4}$$

$$\rightarrow 4v = Rv_s - Rv - R\frac{dv}{dt} + \frac{dv_s}{dt} - \frac{dv}{dt} - \frac{d^2v}{dt^2}$$

$$\rightarrow \frac{d^2v}{dt^2} + (R+1)\frac{dv}{dt} + (4+R)v = Rv_s + \frac{dv_s}{dt}$$ ⑦

★ معادله مشخصه به صورت روبه روست :

$$s^2+(R+1)s+(4+R)=0$$

$\longrightarrow$ شرط اینکه مدار میرای بحرانی گردد : $\Delta=0 \longrightarrow (R+1)^2-4(4+R)=0 \longrightarrow R^2-2R-15=0$

$$\to \begin{cases} R=5 \\ R=-3 \end{cases}$$

★ اگر $R=-3$ باشد مدار میرای بحرانی نخواهد بود و غیر قابل قبول است چون طبق معادله مشخصه زیر :

$$\left.\begin{array}{l} s^2+(R+1)s+(4+R)=0 \\ R=-3 \end{array}\right\} \longrightarrow s^2-2s+1=0 \longrightarrow (s-1)^2=0 \longrightarrow \begin{cases} s_1=1 \\ s_2=1 \end{cases}$$

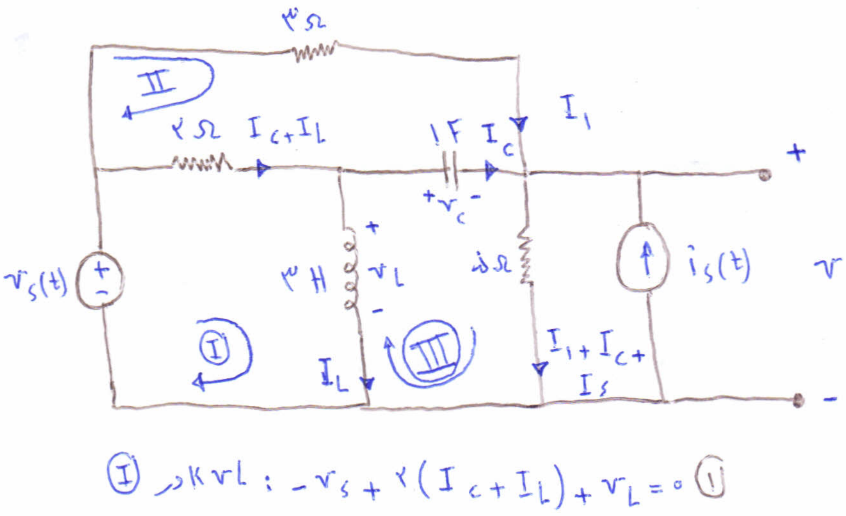
★ s_2 و s_1 هر دو مثبت هستند مدار میرا نمی‌گردد ولی به ازای $R=5$ داریم :

$$\left.\begin{array}{l} s^2+(R+1)s+(4+R)=0 \\ R=5 \end{array}\right\} \longrightarrow s^2+6s+9=0 \longrightarrow (s+3)^2=0 \longrightarrow \begin{cases} s_1=-3 \\ s_2=-3 \end{cases} \to \boxed{R=5}$$

جواب

---

⑥ معادلات حالت را برای مدار زیر بنویسید. ولتاژ خروجی را برحسب متغیرهای حالت بنویسید. دوگان مدار را رسم کنید.



I در KVL : $-v_s+2(I_C+I_L)+v_L=0$ ①

II در KVL : $I_1=\frac{1}{3}v_C+\frac{2}{3}I_C+\frac{2}{3}I_L$ ②

III در KVL : $v_C+5(I_1+I_C+I_s)-v_L=0$ ③

جایگذاری ② در ③ $\longrightarrow$ $v_L = \frac{8}{3}v_C + \frac{25}{3}I_C + \frac{10}{3}I_L + 5I_s$ (★)

★ از طرفی از ① داریم : $I_C = \frac{1}{2}v_s - \frac{1}{2}v_L - I_L$ (★★)

جایگذاری (★★) در (★) و استفاده از رابطه $v_L = L\frac{dI_L}{dt}$ $\longrightarrow$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{16}{93}v_C - \frac{10}{31}I_L + \frac{25}{93}v_s + \frac{10}{31}I_s \quad (★★★)$$

★ با قرار دادن (★★★) در (★★) داریم: $\left(I_C = C\frac{dv_C}{dt}\right)$

$$\boxed{I_C = \frac{dv_C}{dt} = -\frac{8}{31}v_C - \frac{46}{31}I_L + \frac{3}{31}v_s + \frac{15}{31}I_s}$$

★ لذا ماتریس معادلات حالت به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_C}{dt} \\ \frac{dI_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{8}{31} & -\frac{46}{31} \\ \frac{16}{93} & -\frac{10}{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_C \\ I_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{3}{31} & \frac{15}{31} \\ \frac{25}{93} & \frac{10}{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s \\ I_s \end{bmatrix}$$

★ معادله $v_o(t)$ برحسب معادلات حالت به شرح زیر است:

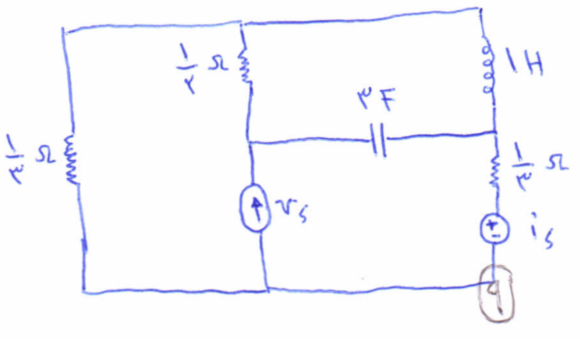
$$v_o(t) = 5(I_1 + I_C + I_s)$$

★ با جایگذاری معادلات بدست آمده برای I_1 و I_C داریم:

جواب

$$\boxed{v_o(t) = -\frac{15}{31}v_C - \frac{437}{93}I_L + \frac{25}{31}v_s + \frac{280}{31}I_s}$$

★ برای رسم مدار دوگان، متناظر با هر مش یک گره در نظر گرفته، سپس دوگان المان های بین دو مش را بین دو گره متناظر قرار می دهیم. نتیجه به شرح زیر خواهد بود:



جواب ←

۷) می دانیم در یک مدار خطی تغییر ناپذیر با زمان برای ورودی: $\longleftarrow$ $X(t) = (\cos(t)+\sin(t))\,u(t)$ پاسخ حالت صفر به صورت $Y(t) = (\sin(t))\,u(t)$ می باشد. پاسخ ضربه مدار را تعیین کنید.

★ در یک مدار LTI رابطه روبه رو برقرار است: $Y(s) = X(s)\,H(s)$ ؛ که $H(s)$ تبدیل لاپلاس پاسخ ضربه و $X(s)$ و $Y(s)$ به ترتیب تبدیل لاپلاس ورودی و خروجی مدار می باشد؛ لذا داریم:

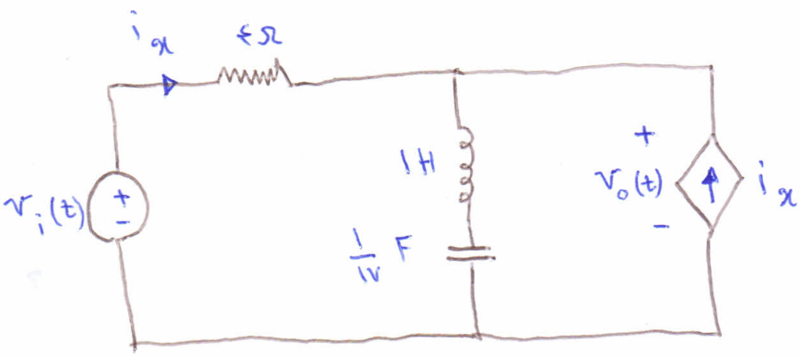
$$X(s) = \frac{s}{s^2+1} + \frac{1}{s^2+1} = \frac{s+1}{s^2+1}$$

$$Y(s) = \frac{1}{s^2+1} \rightarrow H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\frac{1}{s^2+1}}{\frac{s+1}{s^2+1}} = \frac{1}{s+1}$$

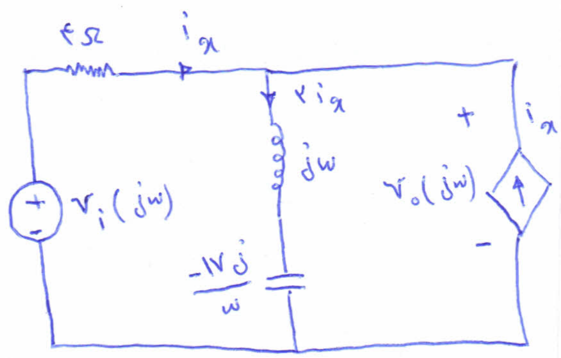
$$\rightarrow \boxed{h(t) = e^{-t}\,u(t)}$$ جواب

---

۸) در مدار شکل مقابل منحنی اندازه تابع شبکه $|H(j\omega)| = \left|\frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}\right|$ به چه صورت می باشد؟



فازور $\longrightarrow$

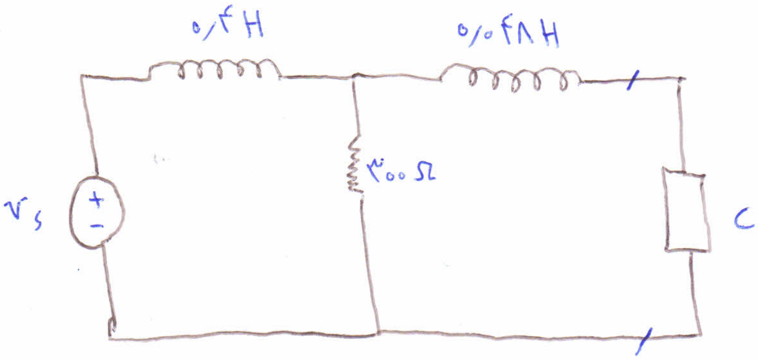


$$V_i(j\omega) = 4i_x + \left(j\omega - \frac{j17}{\omega}\right)(2i_x) = i_x\left(4 + j\left(2\omega - \frac{34}{\omega}\right)\right)$$

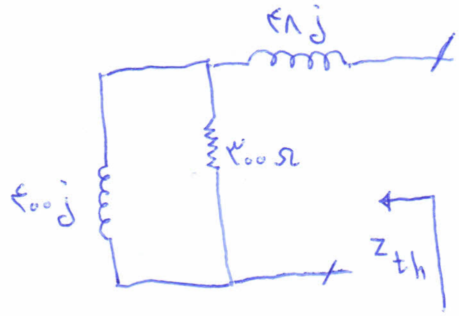
$$V_o(j\omega) = j\left(2\omega - \frac{34}{\omega}\right) i_x$$

$$\rightarrow H(j\omega) = \frac{j\left(2\omega - \frac{34}{\omega}\right)}{4 + j\left(2\omega - \frac{34}{\omega}\right)} \rightarrow \boxed{|H(j\omega)| = \frac{2\omega - \frac{34}{\omega}}{\sqrt{16 + \left(2\omega - \frac{34}{\omega}\right)^2}}}$$ جواب

۹) در مدار شکل زیر مقدار C چقدر باشد تا در فرکانس $\omega = 1000 \frac{rad}{s}$ ماکزیمم توان به شبکه منتقل گردد؟



★ ابتدا امپدانس دیده شده از دو سر بار (خازن) را بدست می آوریم:



$$Z_{th} = (300 \| 400j) + 48j = 192 + 192j$$

★ حال برای اینکه حداکثر توان به شبکه منتقل شود باید امپدانس بار، مزدوج امپدانس تونن باشد یعنی:

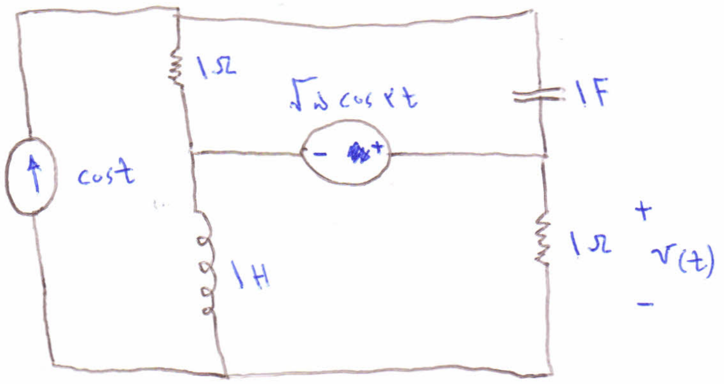
$$Z_{th} = Z_L^{*} \xrightarrow{Z_L = \frac{1}{j\omega C}} Z_L^{*} = \frac{j}{\omega C}$$

★ چون بار موهومی خالص است، پس داریم:

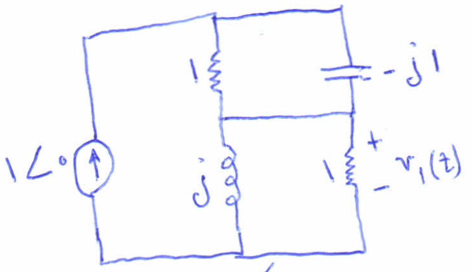
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 192 \rightarrow C = \frac{1}{192 \times 10^3} F$$

$$\rightarrow \boxed{C = 5.2 \mu F}$$ جواب نهایی

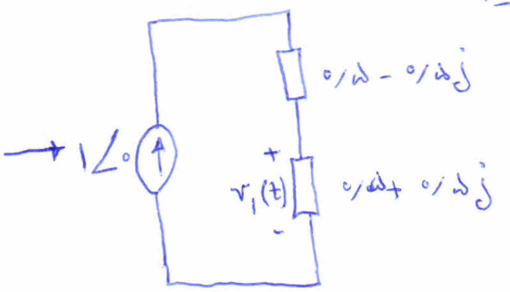
۱۰) مدار مقابل در حالت دائمی سینوسی است. مقدار موثر $v(t)$ تعیین کنید.



★ با استفاده از جمع آثار، اثر هریک از منابع را جداگانه بررسی کرده و در هر حالت معادل فازوری مربوط به خودش را قرار می‌دهیم (چون دو منبع با فرکانس متفاوت داریم). ابتدا منبع جریان را در نظر می‌گیریم (شکل ۱) خواهیم داشت:



شکل ۱



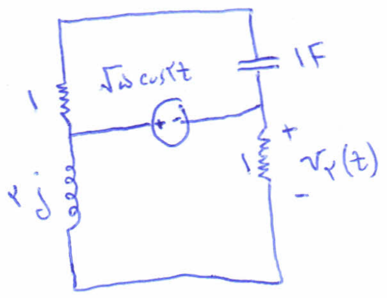
$$v_1 = (0.5 + 0.5j) \times 1\angle 0$$

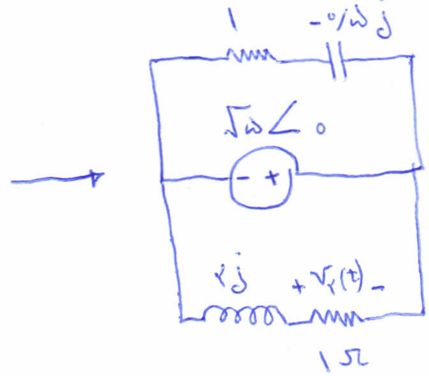
$$v_1 = 0.5 + 0.5j$$

$$\rightarrow v_1 = 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ$$

$$\rightarrow v_1(t) = 0.5\sqrt{2}\cos(t + 45^\circ)$$

★ حال منبع جریان را خاموش کرده و فقط منبع ولتاژ را داریم (شکل ۲) در حوزه فازور داریم:





★ با قاعده تقسیم ولتاژ داریم:

$$v_2 = \frac{1}{1+2j} \times \sqrt{5}\angle 0 = 1 - 2j \times \frac{\sqrt{5}}{5}\angle 0 = 1\angle -63^\circ \rightarrow v_2(t) = \cos(2t - 63^\circ)$$

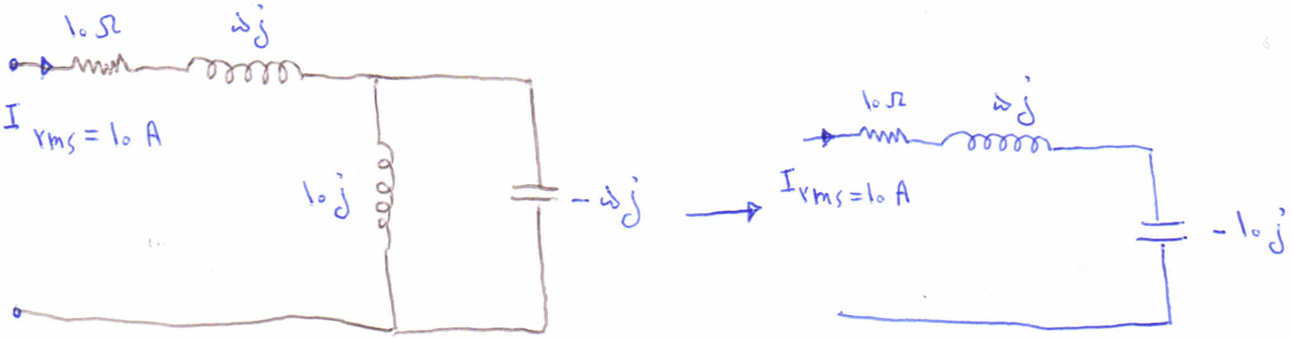
★ لذا برای $v(t)$ داریم:

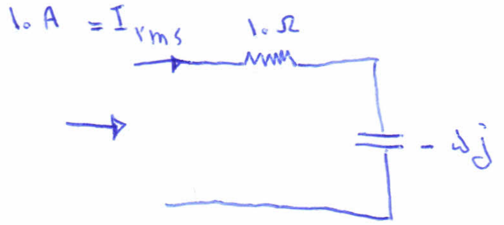
$$v(t) = v_1(t) + v_2(t) = 0.5\sqrt{2}\cos(t + 45) + 1\cos(2t - 63^\circ)$$

$$\rightarrow v_{rms} = \sqrt{\left(\frac{0.5\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{3}{4}}$$

جواب نهایی

(۱۱) مثلث توان مدار روبه‌رو را بیابید.

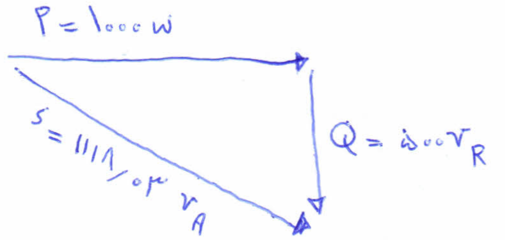




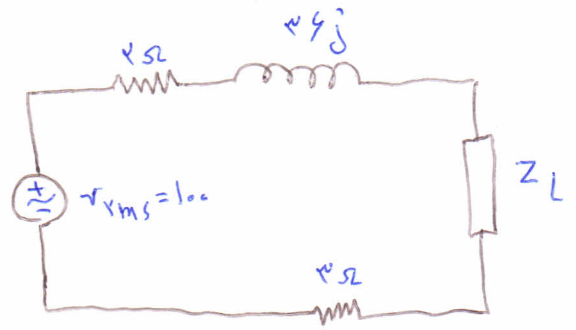
$$P = R \times I_{rms}^2 = 10 \times (10^2) = 1000\ (w)$$

$$Q = X_C\, I_{rms}^2 = 5 \times (10^2) = 500\ VAR$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 1118/03\ VA$$



(۱۲) امپدانس Z_L خازنی و مقدارش ۵۰Ω است و توان راکتیو بار برابر ۱۰- KVAR است. اگر توان راکتیو کل شبکه ۲ KVAR باشد، مقدار حقیقی بار خازن چند اهم است؟



$$Z_L = \sqrt{(X_C)^2 + R^2} = 50\Omega$$

$$Q_t = 2000\ VAR \rightarrow$$

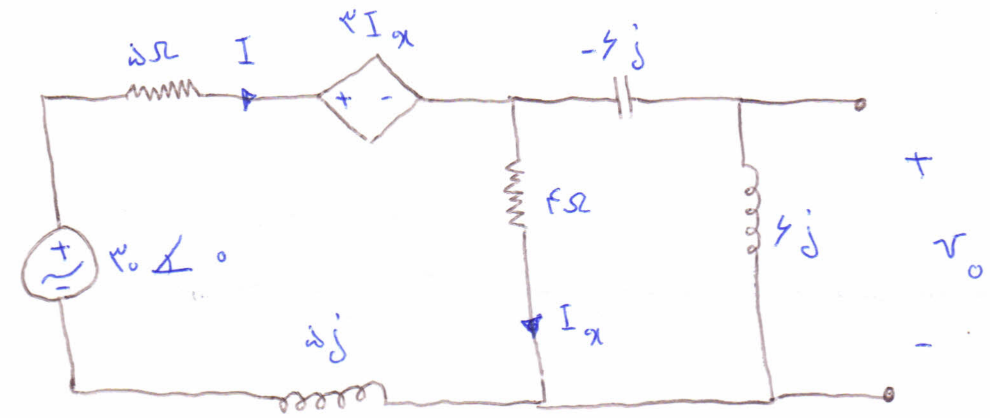
$$\rightarrow 36 \times (I_{rms}^2) - 10000 = 2000 \rightarrow \boxed{I_{rms} = \frac{10\sqrt{30}}{3}}$$ جواب

$$Q_L = -10\ KVAR \rightarrow -10000 = -X_C \cdot I_{rms}^2 \rightarrow 10000 = X_C \left(\frac{10\sqrt{30}}{3}\right)^2$$

$$\rightarrow X_C = \frac{10000}{\frac{1000}{3}} = 30\Omega$$

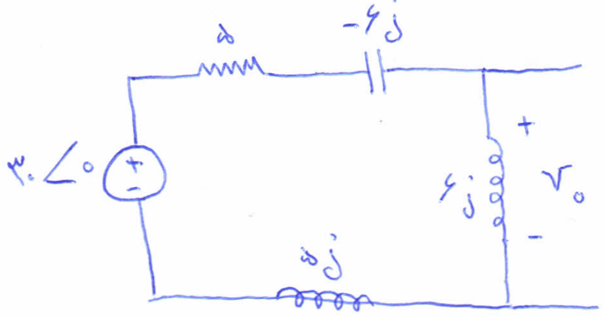
$$\rightarrow Z_L = \sqrt{X_C^2 + R^2} \rightarrow 50 = \sqrt{(30)^2 + R^2} \rightarrow \boxed{R = 40\Omega}$$ جواب

۱۳) مقدار V_o را بدست آورید.



از آن جاکه امپدانس j۶- و j۶ در رزونانس هستند، لذا معادل آن‌ها اتصال کوتاه می‌باشد، در نتیجه مقاومت ۴Ω اتصال کوتاه می‌شود، پس $I_x = 0$ و

لذا منبع وابسته اتصال کوتاه می‌گردد، پس:



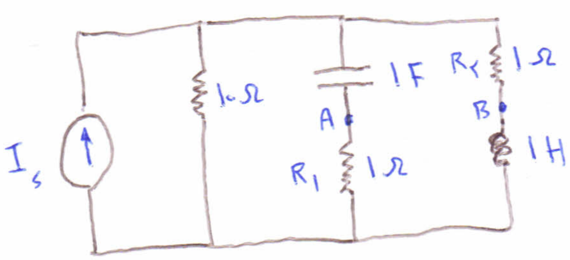
$$KVL:\ -30\angle 0 + 5I - 6jI + 6jI + 5jI = 0$$

$$-30\angle 0 + (5+5j)I = 0 \rightarrow I = 3\sqrt{2}\angle -45$$

$$V_o = 6jI \rightarrow V_o = 6\angle 90 \times 3\sqrt{2}\angle -45 \rightarrow \boxed{V_o = 18\sqrt{2}\angle 45}$$ جواب نهایی

---

۱۴) تغییرات فرکانس چه تأثیری در اندازه و فاز V_{AB} دارد؟ (در حالت دائمی سینوسی)



$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \xrightarrow{C=1F} Z_C = \frac{1}{j\omega}$$

$$Z_L = j\omega L \xrightarrow{L=1H} Z_L = j\omega$$

$$R_1 = R_2 = 1\Omega$$

چون رابطه $Z_C \cdot Z_L = R_1 \cdot R_2 = 1$ برقرار است، لذا پل وتستون تشکیل شده است، یعنی $V_{AB} = 0$، پس تغییر فرکانس تأثیری

در اندازه و زاویه ولتاژ AB ندارد و مقدار آن به ازای فرکانس‌های مختلف همواره صفر است.