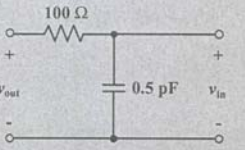
یک پارامتر کلیدی در مدارهای دیجیتال سرعت آن‌ها است. در این‌جا منظور از سرعت توانایی واکنش یک گیت (از یک حالت منطقی به حالت منطقی دیگر (مثل 0 به 1 و بالعکس)) و زمان تأخیر لازم برای حمل خروجی یک گیت به ورودی گیت دیگر است. گرچه ترانزیستورها دارای خاصیت خازنی درونی‌اند و لذا سرعت آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسیرهای درونی آن‌ها هم سرعت مدارهای مجتمع سریع را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ما می‌توانیم مسیر بین دو گیت منطقی را با استفاده از مدار ساده RC مدل‌سازی نماییم (با کاهش سایز در طرح‌های جدید، مدل‌های دقیق‌تری برای پیش‌بینی رفتار مدارها لازم است). مثلاً مسیری به طول $2000\mu m$ و عرض $2\mu m$ را درنظربگیرید. می‌توانیم این مسیر را در یک نمونه مدار مجتمع سیلیکانی به صورت ظرفیت 0.5pF و مقاومت 100Ω مدل‌سازی کنیم (شکل ۸ـ۵۳).



شکل ۸ـ۵۳ مدل مداری یک مسیر مداری.

بیایید تصور کنیم که v_{out} نمایش ولتاژ خروجی یک گیت باشد که از منطق "0" به حالت "1" تغییر می‌کند. ولتاژ v_{in} در ورودی گیت دیگر ظاهر می‌شود و ما مایلیم بدانیم چقدر طول می‌کشد تا v_{in} به v_{out} برسد.

با فرض ظرفیت 0.5 pF و خالی‌بودن مسیر اتصال (یعنی $v_{in}(0) = 0$) با محاسبه ثابت زمانی RC برای مسیر به صورت $\tau = RC = 50$ ps، تعریف $t = 0$ به‌عنوان زمان تغییر v_{out}، عبارت زیر را به‌دست می‌آوریم:

$$v_{in}(t) = Ae^{-t/\tau} + v_{out}(0)$$

با تنظیم $v_{in}(0) = 0$، می‌بینیم $A = -v_{out}(0)$ است و بنابراین:

$$v_{in}(t) = v_{out}(0)[1 - e^{-t/\tau}]$$

خواهد شد. با بررسی این معادله، می‌بینیم که v_{in} پس از 5τ یا 250 ps به $v_{out}(C)$ می‌رسد. اگر ولتاژ v_{out} دوباره قبل از این زمان گذرا عوض شود، آنگاه خازن زمان کافی برای تغییر ندارد. در این صورت v_{in} کوچک‌تر از v_{out} خواهد شد، اگر مثلاً فرض شود $v_{out}(0)$ حداقل مقدار خود را داشته باشد، آنگاه v_{in} منطق 1 را نخواهد داشت. اگر v_{out} ناگهان به 0 تغییر کند (منطق 0) خازن شروع به تخلیه خواهد کرد به‌طوری‌که v_{in} بیش از حد خالی می‌شود. بنابراین با سوئیچ‌کردن سریع حالات منطقی، قادر نخواهیم بود اطلاعاتی را به گیت دیگر انتقال دهیم. بنابراین سریع‌ترین سرعت تغییر حالات منطقی $(5\tau)^{-1}$ است. این سرعت را می‌توان به وسیله فرکانس کاری مطابق زیر نشان داد:

$$f_{max} = \frac{1}{2(5\tau)} = 2 \text{ GHz}$$

که ضریب 2 پریود شارژ ـ دشارژ را نشان می‌دهد. اگر بخواهیم مدار مجتمع ما در فرکانس‌های بالاتر کار کند تا به این ترتیب محاسبات سریع‌تر انجام شود، باید ظرفیت و مقاومت اتصالات درونی را کاهش دهیم.

۸ـ۱۰ خلاصه فصل و مرور

- پاسخ مداری که منابعش ناگهان در داخل یا بیرون مدار حاوی خازن یا القاگر تغییر کند از دو بخش تشکیل شده است: یکی پاسخ طبیعی و دیگری پاسخ واداشته.
- فرم پاسخ طبیعی (که به آن پاسخ گذرا هم می‌گویند) فقط به مقدار قطعات و نحوه اتصال آن‌ها وابسته است.
- فرم پاسخ واداشته آینه‌ای از تابع تحریک است. بنابراین یک تابع dc همواره به پاسخ واداشته ثابت منجر می‌شود.
- مداری که به یک القاکنایی معادل L و یک مقاومت معادل R کاهش یابد، پاسخ طبیعی $i(t) = I_0e^{-t/\tau}$ را دارد، که در آن $\tau = L/R$ ثابت زمانی مدار می‌باشد.
- مداری که به یک ظرفیت معادل C و یک مقاومت معادل R کاهش یابد، پاسخ طبیعی $v(t) = V_0e^{-t/\tau}$ را دارد که در آن $\tau = RC$ ثابت زمانی مدار می‌باشد.
- پاسخ پله واحد راهی مفید برای مدل‌سازی باز و بسته‌شدن یک کلید است، ضمن این‌که نیم‌نگاهی هم باید به مقادیر اولیه داشت.
- پاسخ کامل مدار RL و یا RC که با یک منبع dc تحریک شود فرم $f(0^+) = f(\infty) + A$ و $f(t) = f(\infty) + [f(0^+) - f(\infty)]e^{-t/\tau}$ یا $e^{-t/\tau}$ (مقدار نهایی − مقدار اولیه) + مقدار نهایی = پاسخ کامل، را دارد.

- پاسخ کامل یک مدار RL یا RC را می‌توان با نوشتن یک معادله دیفرانسیل برای کمیت موردنظر و حل آن میسر می‌شود.
- در مدارهایی که به‌طور متوالی سوئیچ می‌شوند یا به یک موج پالسی وصل هستند، موضوع مرتبط این‌است‌که عنصر ذخیره‌کننده زمان کافی برای شارژ یا دشارژ کامل در مقایسه با ثابت زمانی مدار دارد یا نه.

۸ـ۱۱ خواندنی‌های کمکی

A guide to solution techniques for differential equations can be found in:

W. E. Boyce and R. C. DiPrima, *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems,* 7th ed. New York: Wiley, 2002.

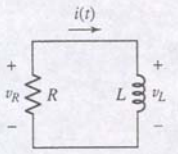
A detailed description of transients in electric circuits is given in:

E. Weber, *Linear Transient Analysis Volume I.* New York: Wiley, 1954. (Out of print, but in many university libraries.)

مسائل

۸ـ۱ مدار RL بدون منبع

۱. مدار ساده RL در شکل ۸ـ۵۴ نشان داده شده است. اگر $R = 4.7$ kΩ، $L = 1\ \mu$H و $i(0) = 2$ mA باشد، مطلوبست (الف) i در 100 ps؛ (ب) i در $t = 212.8$ ps، (ج) v_R در 75 ps و (د) v_L در 75 ps.



شکل ۸ـ۵۴

۲. مدار شکل ۸ـ۵۴ متشکل از مقاومت $R = 1\ \Omega$ و یک القاکنایی $L = 2$ H است. در $t = 0$، القاگر 100 mJ انرژی می‌گیرد. مطلوبست (الف) i در $t = 1$s؛ (ب) i در $t = 5$s؛ (ج) i در $t = 10$ s و (د) انرژی باقیمانده در القاگر در $t = 2$s.

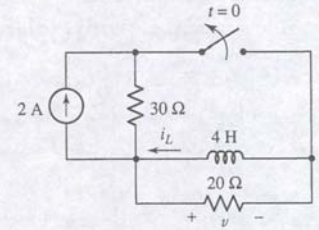
۳. برای مدار ساده RL در شکل ۸ـ۵۴، R برابر 100 Ω فرض می‌شود. اگر $i(0) = 2$ mA و $i(50\ \mu s) = 735.8\ \mu$A باشد، مطلوبست مقدار القاکنایی L.

۴. برای مدار ساده شکل ۸ـ۵۴، $L = 3$ mH فرض می‌شود. اگر $i(0) = 1.5$ A و $i(2\text{ s}) = 551.8$ mA باشد، مطلوبست مقدار مقاومت R.

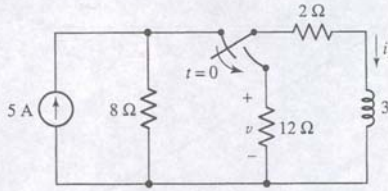
۵. یک القاگر 3 mH در مدار شکل ۸ـ۵۴، 1 J انرژی را در $t = 0$ و 100 mJ انرژی را در $t = 1$ ms ذخیره کرده است، R را محاسبه کنید.

۶. کلید مدار شکل ۸ـ۵۵ مدت‌ها در حالت بسته بوده است. اگر در $t = 0$ کلید باز شود، (الف) i_L را در یک لحظه پس از تغییر کلید بیابید. (ب) v را بلافاصله پس از تغییر وضع کلید به‌دست‌آورید.

۷. کلید شکل ۸ـ۵۶ تک‌پل دو حالته است و نشان می‌دهد که قبل از بازشدن، یک مدار دیگر را می‌بندد. این نوع کلید را معمولاً "وصل قبل از قطع" می‌خوانند. با فرض این‌که کلید از مدت‌ها قبل در وضعیت ترسیم‌شده واقع باشد، مقدار v و i_L را (الف) درست قبل از تغییر وضع کلید و (ب) درست بعد از تغییر وضع کلید، به‌دست‌آورید.

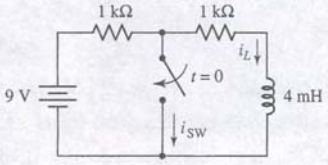


شکل ۸ـ۵۵



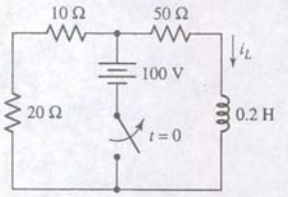
شکل ۸ـ۵۶

۸. پس از آرایش یک‌ساعته در شکل، کلید مدار شکل ۸ـ۵۷ در $t = 0$ بسته می‌شود. در $t = 5\mu$s مطلوبست: (الف) i_L و (ب) i_{sw}.



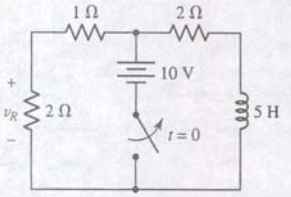
شکل ۸ـ۵۷

۹. کلید مدار شکل ۸.۵۸ پس از مدت‌ها بسته‌بودن در $t = 0$ باز می‌شود. (الف) i_L را برای $t > 0$ پیدا کنید. (ب) $i_L(10ms)$ را حساب کنید. (ج) اگر $i_L(t_1) = 0.5i_L(0)$ باشد، t_1 را بیابید.



شکل ۸.۵۸

۱۰. برای مدار شکل ۸.۵۹، (الف) معادله دیفرانسیلی بنویسید که ولتاژ مقاومت v_R را برای $t > 0$ توصیف کند. (ب) معادله مشخصه را حل کنید. (ج) v_R را درست قبل از بازشدن سوئیچ، و درست بعد از بازشدن سوئیچ و در $t = 1s$ محاسبه کنید.

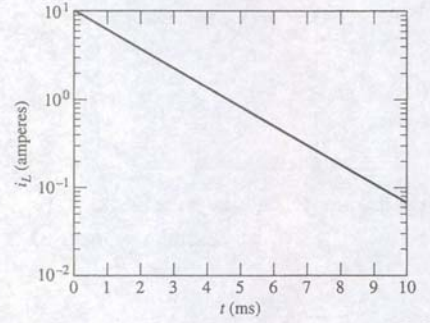


شکل ۸.۵۹

۸-۲ خواص پاسخ نمایی

۱۱. شکل ۸.۷ نمودار i/I_0 را به‌عنوان تابعی از t نشان می‌دهد. (الف) مقادیری از t/τ را معین کنید که در آن i/I_0 برابر 0.1، 0.01 و 0.001 گردد. (ب) اگر خطی مماس در نقطه $t/\tau = 1$ بر منحنی رسم شود، در کجا محور t/τ را قطع می‌کند.

۱۲. با مراجعه به پاسخ شکل ۸.۶۰، ثابت زمانی مدار و جریان اولیه داخل القاگر را به‌دست آورید.



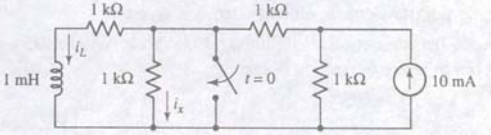
شکل ۸.۶۰

۱۳. ولتاژ مقاومت را در یک مدار RL ساده با مقدار انرژی اولیه 15mJ که در القاگر 10mH ذخیره شده برای $R = 1k\Omega$، $R = 10k\Omega$ و $R = 100k\Omega$ رسم کنید. جواب خود را با PSpice تأیید نمایید.

۱۴. در مدار شکل ۸.۱، $R = 1M\Omega$ و $L = 3.3\mu H$ می‌باشد. (الف) ثابت زمانی مدار را حساب کنید. (ب) اگر القاگر انرژی اولیه $43\mu J$ را در $t = 0$ داشته باشد، i_L را در $t = 5ps$ به‌دست آورید. (ج) صحت حل خود را با PSpice تحقیق کنید.

۱۵. یک سیگنال دیجیتال به داخل یک سیم‌پیچ القاکنایی $125.7\ \mu H$، ارسال شده است. حداکثر مقدار مجاز مقاومت معادل تونن گیرنده اگر انتقال کمتر از 100ns طول بکشد، چقدر است.

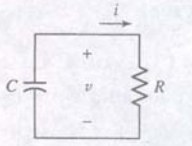
۱۶. کلید شکل ۸.۶۱ قبل از بسته‌شدن در $t = 0$، مدت‌ها در حالت باز بوده است. در فاصله زمانی $-5 < t < 5\mu s$، (الف) $i_L(t)$ و (ب) $i_x(t)$ را ترسیم کنید.



شکل ۸.۶۱

۸-۳ مدار RC بدون منبع

۱۷. در مدار RC موازی در شکل ۸.۶۲، $C = 1\ \mu F$ و $R = 100\ M\Omega$ نشان‌دهندهٔ تلفات در دی‌الکتریک خازن است. خازن 1 mJ انرژی را در $t = 0$ دارد. (الف) ثابت زمانی مدار را تعیین کنید. (ب) i را در 20 s محاسبه نمایید. (ج) صحت حل خود را با شبیه‌سازی PSpice تحقیق نمایید.



شکل ۸.۶۲

۱۸. برای مدار شکل ۸.۶۲، فرض می‌شود که $R = 1\ \Omega$، $C = 2\ F$ و $i(0) = 10\ V$ است. v را در شرایط (الف) $t = 1\ s$؛ (ب) $t = 2\ s$؛ (ج) $t = 5\ s$ و (د) $t = 10\ s$ محاسبه کنید.

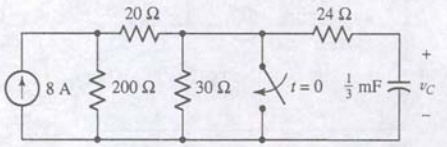
۱۹. از $R = 1\ k\Omega$ و $C = 4\ mF$ در مدار شکل ۸.۶۱ استفاده شده است. اگر $v(0) = 5\ V$ باشد، (الف) v را در $t = 1\ ms$ محاسبه کنید. (ب) i را در $t = 2\ ms$ محاسبه کنید. (ج) انرژی باقیمانده در خازن را در $t = 4\ ms$ تعیین کنید.

۲۰. برای مدار RC که در شکل ۸.۶۲ نشان داده شده است، $C = 100\ pF$، $v(0) = 1.5\ V$ و $v(2\ ns) = 100\ mV$ محاسبه شده است. (الف) اگر R را به دست آورید. (ب) صحت حل خود را با شبیه‌سازی PSpice تحقیق نمایید.

۲۱. منبع تغذیه یک گیرنده استریو دو خازن بزرگ موازی 50mF دارد. هنگام خاموش‌کردن منبع انرژی، مشاهده می‌کنید که یک LED که به علامت وجود برق است به آهستگی و پس از گذشت زمان چندثانیه‌ای

خاموش می‌شود. به علت نبودن برنامه خوب در تلویزیون تصمیم می‌گیرید آزمایشی را با دوربین 35mm و سرعت متغیر شاتر با چند حلقه فیلم ارزان انجام دهید. با سرعت شاتر 2s، هیچ تصویری روی فیلم ظاهر نمی‌شود. در سرعت 1s یک تصویر ضعیف مشاهده می‌شود. با سرعت 150ms تصویر 14% شدت حاصل از سریع‌ترین سرعت دوربین است. مقاومت معادل تونن مدار متصل به منبع تغذیه گیرنده را تخمین بزنید.

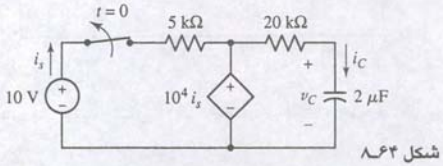
۲۲. (الف) $v_C(t)$ را برای همه زمان‌های شکل ۸.۶۳ بیابید. (ب) در چه زمانی $v_C = 0.1\ v_C(0)$ است.



شکل ۸.۶۳

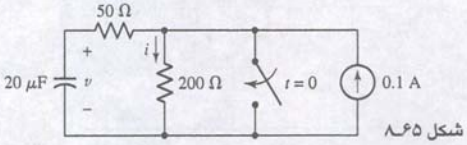
۲۳. یک منبع جریان 4A، یک مقاومت 20Ω و یک خازن $5\mu F$ همگی با هم موازیند. دامنه منبع جریان ناگهان در $t = 0$ به صفر افت می‌کند. در چه زمانی خازن به نصف مقدار اولیه‌اش می‌افتد. (ب) انرژی ذخیره‌شده در این حال در خازن چقدر است؟

۲۴. $v_C(t)$، $i_C(t)$ را برای مدار شکل ۸.۶۴ بیابید و هر دو منحنی را روی یک محور زمانی با $-0.1\ s < t < 0.1\ s$ رسم کنید.



شکل ۸.۶۴

۲۵. برای مدار شکل ۸.۶۵ مقدار جریان i و ولتاژ v را در $t = 0^+$، $t = 1.5ms$ و $t = 3.0s$ به‌دست آورید.

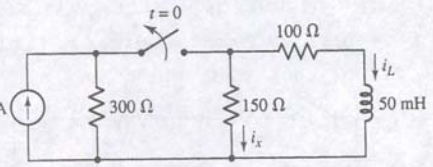


شکل ۸.۶۵

۸-۴ تعمیم دیدگاه

۲۶. سوئیچ در شکل ۸.۶۶ پس از زمان طولانی بسته‌ماندن در $t = 0$ باز شده است. i_L و i_x را در (الف) $t = 0^-$؛ (ب) $t = 0^+$؛ (ج) $t = 300\ \mu s$ محاسبه کنید.

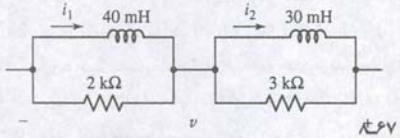
۲۷. یک القاگر 0.2H با یک مقاومت 100Ω موازی است. جریان القاگر در $t = 0$ برابر 4A است. (الف) $i_L(t)$ را در $t = 0.8s$ به‌دست آورید. (ب) اگر یک مقاومت 100Ω دیگر موازی با القاگر در $t = 1ms$ وصل شود، i_L را در $t = 2ms$ محاسبه کنید.



شکل ۸.۶۶

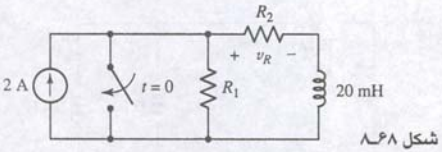
۲۸. یک القاگر 20mH با یک مقاومت 1kΩ موازی است. بگذارید در $t = 0$ جریان حلقه 40mA باشد. (الف) در چه زمانی جریان 10mA می‌گردد؟ (ب) چه مقاومت سری را باید به مدار در $t = 10\mu s$ متصل کرد به‌طوری‌که جریان در $t = 15\mu s$ به 10mA برسد.

۲۹. در شبکه شکل ۸.۶۷، مقادیر اولیه عبارتند از $i_1(0) = 20mA$ و $i_2(0) = 15mA$. (الف) $v(0)$ را معین کنید. (ب) $v(15\mu s)$ را به‌دست آورید. (ج) در چه زمانی $v(t) = 0.1\ v(0)$ می‌گردد؟



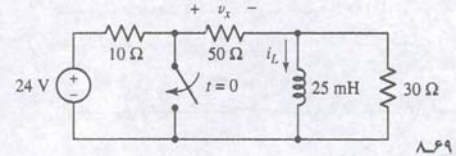
شکل ۸.۶۷

۳۰. مقادیر R_1 و R_2 را در مدار شکل ۸.۶۸ طوری انتخاب کنید که $v_R(1ms) = 5V$ و $v_R(0^+) = 10V$ باشد.



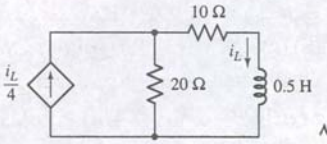
شکل ۸.۶۸

۳۱. کلید در شکل ۸.۶۹ از مدت‌ها قبل باز بوده است. اگر آن را در $t = 0$ ببندیم، (الف) i_L را در $t > 0$ بیابید. (ب) $v_x(t)$ را برای $-4 < t < 4ms$ رسم کنید.



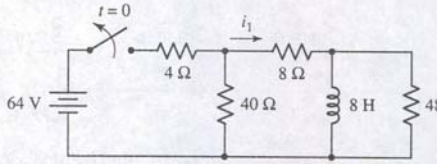
شکل ۸.۶۹

۳۲. اگر در مدار شکل ۸.۷۰، $i_L(0) = 10A$ باشد برای $t > 0$ مقدار $i_L(t)$ را بیابید.



شکل ۸.۷۰

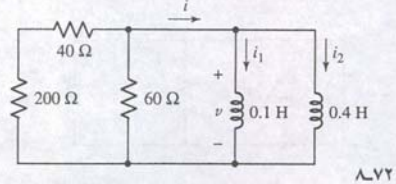
۳۳. به شکل ۸.۷۱ مراجعه نمایید و در $t = -0.1$ ، 0.03 ، 0.1s مقدار i_1 را بیابید و آن را برحسب t ($-0.1 < t < 0.1$ s) رسم کنید.



شکل ۸.۷۱

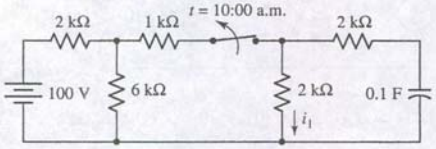
۳۴. مداری متشکل از القاگر 0.5H ، مقاومت 10Ω و یک مقاومت 40Ω سری است. جریان القاگر در $t = 0$ برابر 4A است. (الف) i_L(15ms) را حساب کنید. (ب) مقاومت 40Ω در $t = 15$ms اتصال کوتاه شده است، i_L(30ms) را محاسبه نمایید.

۳۵. مدار شکل ۸.۷۲ حاوی دو القاگر موازی است. بنابراین، این فرصت پیش می‌آید تا جریان در حلقه القایی بچرخد. فرض کنید $i_1(0^-) = 10$A و $i_2(0^-) = 20$A باشد، (الف) $i_1(0^+)$ ، $i_2(0^+)$ و $i(0^+)$ را به‌دست‌آورید. (ب) ثابت زمانی τ را برای $i(t)$ معین کنید. (ج) $i(t)$ را در $t > 0$ پیدا کنید. (د) $v(t)$ را به‌دست‌آورید. (هـ) مقدار $i_1(t)$ و $i(t)$ را از $v(t)$ و مقدار اولیه به‌دست‌آورید. (و) نشان دهید که انرژی ذخیره‌شده در $t = 0$ برابر مجموع انرژی‌های تلف‌شده در شبکه مقاومتی بین $t = 0$ و $t = \infty$، به علاوه انرژی ذخیره‌شده در القاگر در $t = \infty$ می‌باشد.



شکل ۸.۷۲

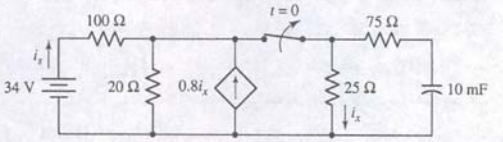
۳۶. مدار شکل ۸.۷۳ از روز قبل به فرم نشان داده شده است. کلید در ساعت 10 صبح باز شده است. i_1 و v_C را در (الف) ساعت 9:59 صبح محاسبه کنید. (ب) در ساعت 10:05 محاسبه نمایید. (ج) $i_1(t)$ را در $t = 1.2$s به‌دست‌آورید. (د) صحت حل خود را با PSpice نشان دهید.



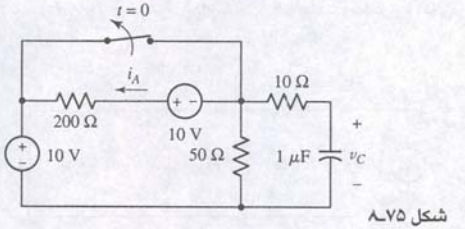
شکل ۸.۷۳

۳۷. پس از مدتی، کلید در شکل ۸.۷۴، در $t = 0$ باز شده است. مقادیر (الف) $i_s(0^-)$، (ب) $i_x(0^-)$، (ج) $i_x(0^+)$، (د) $i_s(0^+)$ و (هـ) i_s(0.4s) را بیابید.

۳۸. پس از مدتی طولانی، در شکل ۸.۷۵ کلید در $t = 0$ باز شده است. (الف) $v_C(t)$ را برای $t > 0$ بیابید. (ب) مقادیر $i_A(-100\mu s)$ و $i_A(100\mu s)$ را پیدا کنید. (ج) صحت حل خود را با PSpice تحقیق کنید.

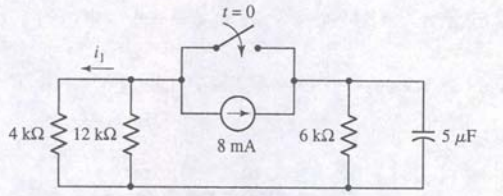


شکل ۸.۷۴



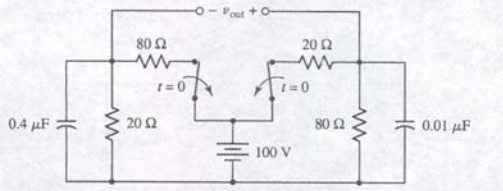
شکل ۸.۷۵

۳۹. پس از مدتی از مونتاژ مدار شکل ۸.۷۶، کلید در $t = 0$ بسته شده است. (الف) $i_1(t)$ را برای $t < 0$ پیدا کنید. (ب) $i_1(t)$ را برای $t > 0$ به‌دست‌آورید.



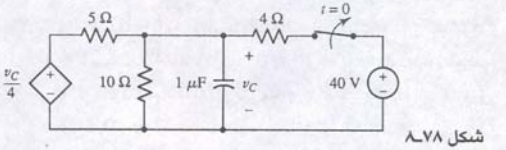
شکل ۸.۷۶

۴۰. مدتی پس از مونتاژ شکل ۸.۷۷، هر دو کلید در $t = 0$ به‌طور همزمان باز شده‌اند. (الف) عبارتی برای v_{out} در $t > 0$ به‌دست‌آورید. (ب) مقادیر v_{out} را در $t = 0^+$ و در $1\mu s$ و $5\mu s$ به‌دست‌آورید.



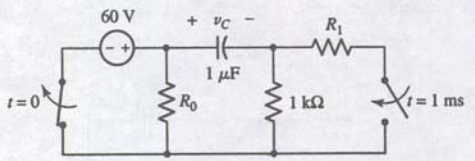
شکل ۸.۷۷

۴۱. (الف) فرض کنید که مدار شکل ۸.۷۸ از مدت‌ها قبل به همان شکل است. $v_C(t)$ را برای همه زمان‌های t پس از بازشدن کلیدها به‌دست‌آورید. (ب) $v_C(t)$ را در $t = 3\mu s$ محاسبه کنید. (ج) صحت حل خود را با PSpice تحقیق کنید.



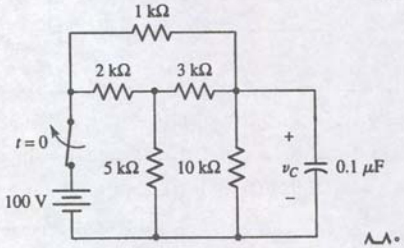
شکل ۸.۷۸

۴۲. مقادیر R_0 و R_1 را در شکل ۸.۷۹ طوری معین کنید که در $t = 0.5$ms مقدار $v_C = 50$V و در $t = 2$ms مقدار $v_C = 25$V باشد.



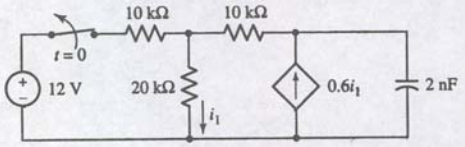
شکل ۸.۷۹

۴۳. برای مدار شکل ۸.۸۰، $v_C(t)$ را برای (الف) $t < 0$ و (ب) $t > 0$ معین کنید.



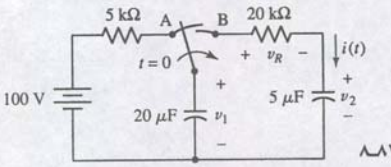
شکل ۸.۸۰

۴۴. $i_1(t)$ را برای $t < 0$ و $t > 0$ در مدار شکل ۸.۸۱ به‌دست‌آورید.



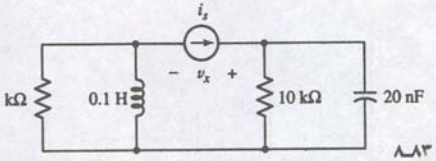
شکل ۸.۸۱

۴۵. در شکل ۸.۸۲ کلید در $t = 0$ از A به B رفته است. این کار دو خازن را سری می‌کند و لذا اجازه می‌دهد تا ولتاژهای dc مخالف و برابری در خازن‌ها به تله بیفتد. (الف) $v_1(0^-)$، $v_2(0^-)$ و $v_R(0^-)$ را بیابید. (ب) $v_1(0^+)$، $v_2(0^+)$ و $v_R(0^+)$ را به‌دست‌آورید. (ج) ثابت زمانی $v_R(t)$ را معین کنید. (د) در $t > 0$ مقدار $v_R(t)$ چیست. (هـ) $i(t)$ را پیدا کنید. (و) v_1 و $v_2(t)$ را از $i(t)$ و مقادیر اولیه پیدا کنید. (و) نشان دهید که انرژی ذخیره‌شده در $t = \infty$ به علاوه انرژی تلف‌شده در مقاومت 20kΩ برابر با انرژی ذخیره‌شده در خازن در $t = 0$ است.



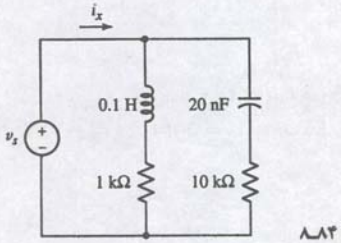
شکل ۸.۸۲

۴۶. مقدار i_s در مدار شکل ۸.۸۳ برابر 1mA در $t < 0$ و صفر در $t > 0$ است. مقدار $v_x(t)$ را برای (الف) $t < 0$ و (ب) $t > 0$ بیابید.



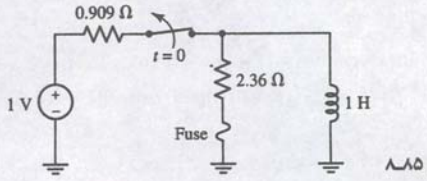
شکل ۸.۸۳

۴۷. مقدار v_s در مدار شکل ۸.۸۴ برای $t < 0$ برابر 20V است و $t > 0$ برابر صفر می‌باشد. $i_x(t)$ را برای (الف) $t < 0^-$ و (ب) $t > 0$ به‌دست‌آورید.



شکل ۸.۸۴

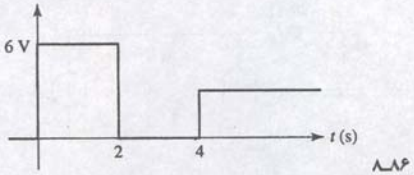
۴۸. کلید در شکل ۸.۸۵ برای مدت چند ساعت بسته بوده است. فیوز نوع خاصی از مقاومت است که اگر جریان برای مدتی بیش از 100ms از 1A تجاوز کند می‌سوزد. مقاومت فیوز 3mΩ است. اگر کلید در $t = 0$ باز شود، آیا فیوز خواهد سوخت؟ جواب را با PSpice پیدا کنید.



شکل ۸.۸۵

۸-۵ تابع پله واحد

۴۹. با استفاده از تابع پله واحد عبارتی که شکل ۸.۸۶ را توصیف کند بنویسید.

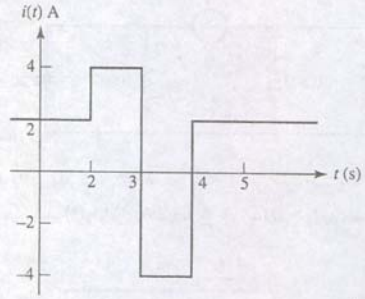


شکل ۸.۸۶

۵۰. با استفاده از توابع پله واحد شکل موج ۸.۸۷ را توصیف کنید.

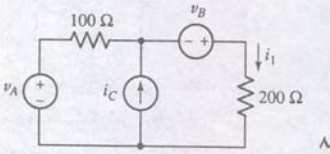
۵۱. با فرض $f(t) = 6u(-t) + 6u(t + 1) - 3u(t + 2)$، تابع $f(t)$ را در t برابر با (الف) -1، (ب) 0^-، (ج) 0^+، (د) 1.5 و (هـ) 3 ارزیابی کنید.

۵۲. با فرض تابع $g(t) = 9u(t) - 6u(t + 10) + 3u(t + 12)$، $g(t)$ را در t برابر با (الف) -11، (ب) 0^-، (ج) 0^+، (د) 5، (هـ) 11 و (و) 30 ارزیابی کنید.



شکل ۸ـ۸۷

۵۳. مقادیر منبع در مدار شکل ۸ـ۸۸ عبارتنداز $v_A = 300u(t - 1)$ V، $v_B = -120u(t + 1)$ V و $i_C = 3u(-t)$A. i_1 را در $t = -1.5$ ،-0.5 ،0.5 ،1.5 پیداکنید.

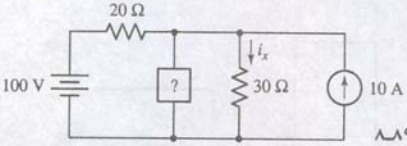


شکل ۸ـ۸۸

۵۴. مقادیر منبع برای شکل ۸ـ۸۸ عبارتند از $v_A = 600tu(t + 1)$ V، $v_B = 600(t + 1)u(t)$ V و $i_C = 6(t - 1)\,u(t - 1)$ A. i_1 را در برابر t با $-2.5 < t < 2.5$s رسم کنید.

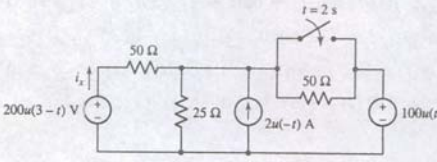
۵۵. در $t = 2$ مقدار (الف) $2u(1 - t) - 3u(t - 1) - 4u(t + 1)$؛ (ب) $4e^{-u(3-t)}u(3 - t)$ و (ج) $[5 - u(t)][2 + u(3-t)][1 - u(1-t)]$ را پیداکنید.

۵۶. در مدار شکل ۸ـ۸۹ مقدار i_x را برای $t > 0$ و $t > 0$ پیداکنید به‌شرطی‌که: (الف) یک کلید معمول باز در $t = 0$ بسته شود و موازی با باطری 60V باشد، مرجع + در بالا است. (ب) یک منبع ولتاژ $60u(t)$V، مرجع + در بالا باشد.



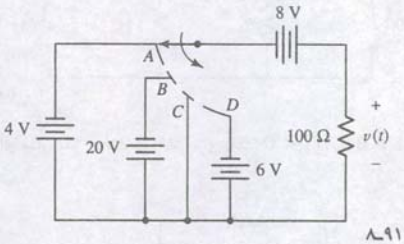
شکل ۸ـ۸۹

۵۷. i_x را در مدار شکل ۸ـ۹۰ از $t = -0.5$s تا $t = 3.5$s با فواصل 1s پیدا کنید.



شکل ۸ـ۹۰

۵۸. کلید در شکل ۸ـ۹۱ در $t < 0$ در وضعیت A قرارگرفته‌است. در $t = 0$ به B جابه‌جا می‌شود و سپس در $t = 4$s به C جابه‌جا می‌شود و بعد در $t = 6$s به D می‌رود و در آن‌جا می‌ماند. $v(t)$ را به‌عنوان تابعی از زمان رسم کنید و آن را به صورت مجموع توابع تحریک پله بیان کنید.

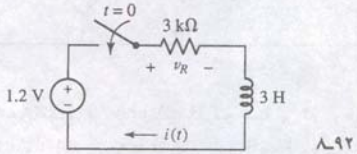


شکل ۸ـ۹۱

۵۹. یک شکل موج در دو سر عنصر مجهول به صورت $7u(t) - 0.2u(t) + 8u(t - 2) + 3$ V ظاهر می‌شود، (الف) ولتاژ را در $t = 1$s معین کنید. (ب) اگر جریان مربوطه در عنصر $3.5u(t) - 0.1u(t) + 4u(t - 2) + 1.5$ A باشد، عنصر از چه نوع است و مقدار آن چیست؟

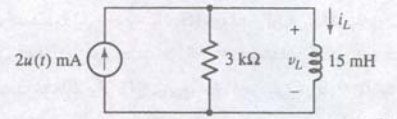
۸ـ۶ مدارهای RL واداشته

۶۰. برای مدار شکل ۸ـ۹۲ (الف) عبارتی برای $v_R(t)$ معتبر در همه زمان‌ها پیداکنید. (ب) v_R را در $t = 2$ ms به دست آورید. (ج) حل خود را با بخش (ب) امتحان کنید.



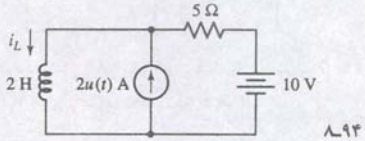
شکل ۸ـ۹۲

۶۱. به شکل ۸ـ۹۳ مراجعه کنید. (الف) $i_L(t)$ را بیابید. (ب) از عبارت $i_L(t)$ برای یافتن $v_L(t)$ استفاده کنید.



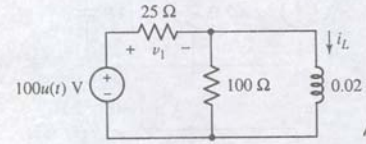
شکل ۸ـ۹۳

۶۲. i_L را در مدار شکل ۸ـ۹۴ در زمان‌های داده‌شده به دست آورید. (الف) -0.5s، (ب) 0.5s و (ج) 1.5s.



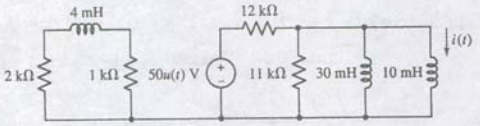
شکل ۸ـ۹۴

۶۳. با مراجعه به شکل ۸ـ۹۵، عبارت جبری را برای: (الف) $i_L(t)$ و (ب) $v_1(t)$ به‌دست‌آورده و آن را رسم نمایید.



شکل ۸ـ۹۵

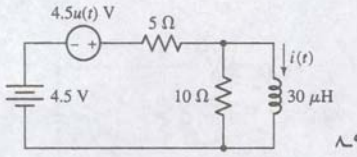
۶۴. با مراجعه به مدار شکل ۸ـ۹۶، (الف) توان جذب‌شده به وسیله مقاومت 2kΩ را در $t = 1$ms محاسبه کنید. (ب) مقدار $i(t)$ را در $t = 3\mu$s معین کنید. (ج) جریان اوج را در مقاومت 12kΩ به‌دست‌آورید. (د) پاسخ خود را با PSpice تحقیق کنید.



شکل ۸ـ۹۶

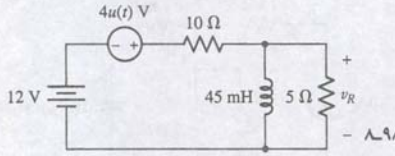
۸ـ۷ پاسخ طبیعی و واداشته

۶۵. برای مدار شکل ۸ـ۹۷، (الف) عبارتی برای $i(t)$ در همه زمان‌ها پیداکنید. (ب) $i(t)$ را در $t = 1.5\,\mu$s به دست آورید. (ج) نتیجه خود را با شبیه‌سازی به وسیله PSpice امتحان کنید.



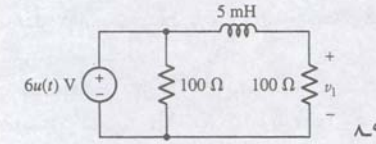
شکل ۸ـ۹۷

۶۶. برای مدار شکل ۸ـ۹۸ (الف) عبارتی برای $v_R(t)$ معتبر در همه زمان‌ها به دست آورید. (ب) $v_R(t)$ را در $t = 2$ ms به دست آورید. (ج) نتیجه خود را با یک شبیه‌سازی PSpice امتحان کنید.



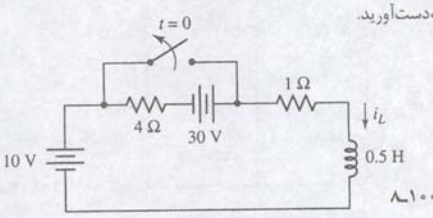
شکل ۸ـ۹۸

۶۷. با مراجعه به شکل ۸ـ۹۹، $v_1(t)$ را در $t = 27\,\mu$s محاسبه نمایید.



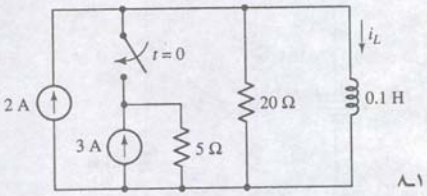
شکل ۸ـ۹۹

۶۸. کلید در شکل ۸ـ۱۰۰ از مدت‌ها قبل بسته بوده است. (الف) i_L را برای $t < 0$ به‌دست‌آورید. (ب) $i_L(t)$ را پس از بازشدن کلید در $t = 0$ به‌دست‌آورید.



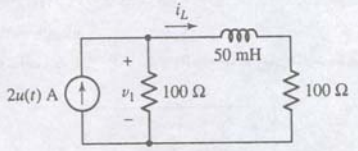
شکل ۸ـ۱۰۰

۶۹. کلید در شکل ۸ـ۱۰۱ از مدت‌ها قبل باز بوده است. (الف) i_L را در $t < 0$ به‌دست‌آورید. (ب) $i_L(t)$ را برای همه زمان‌های t پس از بسته‌شدن کلید در $t = 0$ پیداکنید.



شکل ۸ـ۱۰۱

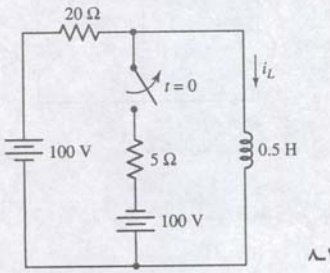
۷۰. برای مدار شکل ۸ـ۱۰۲، مقادیر i_L و v_1 را در زمان‌های t برابر با (الف) 0^-، (ب) 0^+، (ج) ∞ و (د) 0.2ms به‌دست‌آورید.



شکل ۸ـ۱۰۲

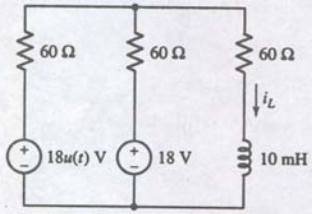
۷۱. معادله (۳۳) در بخش ۸.۷ حل کلی مدار RL سری تحریک‌شده را نشان می‌دهد که در آن Q تابعی از زمان و A و P ثابتند. بگذارید $R = 125\Omega$ و $L = 5$H باشد. $i(t)$ را برای $t > 0$ به‌دست‌آورید، به‌شرطی‌که تابع تحریک Q(t) در (الف) 10V، (ب) $10u(t)$V، (ج) $10 + 10u(t)$ V و (د) $10u(t)\cos 50t$ V باشد.

۷۲. کلید در شکل ۸ـ۱۰۳ از مدت‌ها قبل بسته بوده است (الف) i_L را برای $t < 0$ به‌دست‌آورید. (ب) درست پس از بازشدن کلید، $i_L(0^+)$ را پیداکنید. (ج) $i_L(\infty)$ را پیداکنید. (د) عبارتی برای $i_L(t)$ در $t > 0$ به‌دست‌آورید.



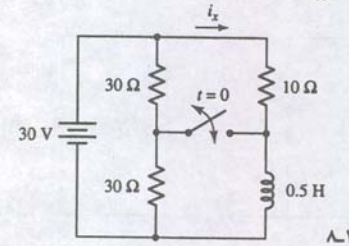
شکل ۸ـ۱۰۳

۷۳. i_L را برای همه زمان‌های t در شکل ۸.۱۰۴ به‌دست‌آورید.



شکل ۸.۱۰۴

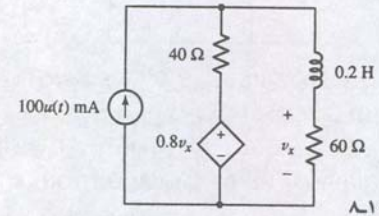
۷۴. فرض کنید کلید در شکل ۸.۱۰۵ از مدت‌ها قبل بسته بوده است و در $t = 0$ باز شود. i_x را در t برابر با (الف) 0^-، (ب) 0^+ و (ج) 40ms به‌دست‌آورید.



شکل ۸.۱۰۵

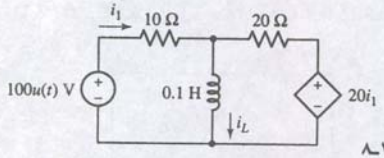
۷۵. فرض کنید کلید در شکل ۸.۱۰۵ از مدت‌ها قبل باز بوده و در $t = 0$ بسته شود. i_x را در زمان‌های t برابر با (الف) 0^-، (ب) 0^+ و (ج) 40ms به‌دست‌آورید.

۷۶. با مراجعه به شکل ۸.۱۰۶، v_x را برای تمام زمان‌ها به‌دست‌آورید.



شکل ۸.۱۰۶

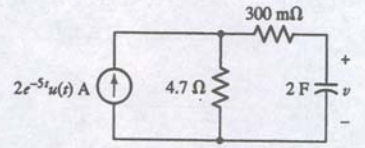
۷۷. با مراجعه به شکل ۸.۱۰۷، (الف) $i_L(t)$ را پیدا کنید. (ب) $i_1(t)$ را به‌دست‌آورید.



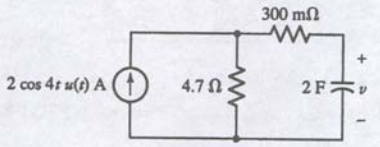
شکل ۸.۱۰۷

۷۸. عبارتی برای $v(t)$ در مدار شکل ۸.۱۰۸ معتبر در همه زمان‌ها به دست آورید.

۷۹. عبارتی برای $v(t)$ در مدار شکل ۸.۱۰۹ معتبر در همه زمان‌ها به دست آورید.



شکل ۸.۱۰۸

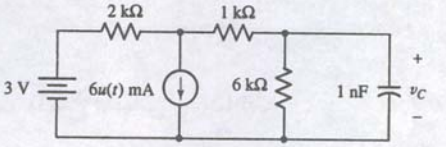


شکل ۸.۱۰۹

۸.۸ مدارهای RC واداشته

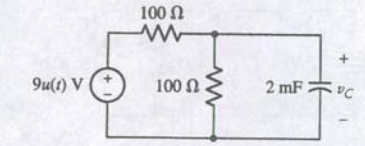
۸۰. (الف) v_C را در مدار شکل ۸.۱۱۰ در $t = -2\mu s$ و $t = 2\mu s$ پیدا کنید.

(ب) صحت حل خود را با PSpice تحقیق نمایید.



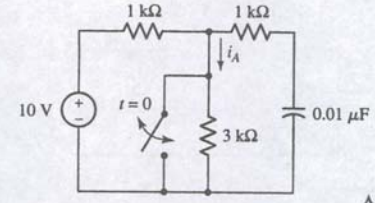
شکل ۸.۱۱۰

۸۱. با مراجعه به مدار RC در شکل ۸.۱۱۱ عبارتی برای $v_C(t)$، معتبر در همه زمان‌ها بیابید.



شکل ۸.۱۱۱

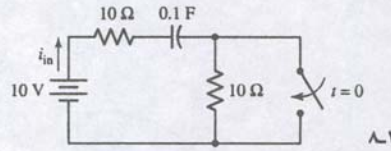
۸۲. پس از مدت مدیدی بسته‌بودن، کلید شکل ۸.۱۱۲ در $t = 0$ باز می‌شود. i_A را برای همه زمان‌ها به‌دست‌آورید.



شکل ۸.۱۱۲

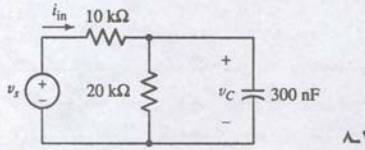
۸۳. سوئیچ شکل ۸.۱۱۲، پس از مدتی بازبودن در $t = 0$ بسته می‌شود. i_A را در تمام زمان‌ها به دست آورید.

۸۴. کلید از مدت‌ها قبل در شکل ۸.۱۱۳ باز بوده است. این کلید ناگهان در $t = 0$ بسته می‌شود. i_{in} را در t (الف) 1.5s- و (ب) 1.5s به‌دست‌آورید.



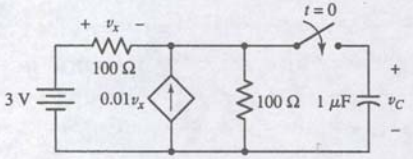
شکل ۸.۱۱۳

۸۵. اجازه بدهید در مدار شکل ۸.۱۱۴، $v_s = -12u(-t) + 24u(t)$ V باشد. در فاصله زمانی $-5ms < t < 5ms$، برای کمیت (الف) $v_C(t)$ و (ب) $i_{in}(t)$ عبارتی جبری به‌دست‌آورید و آن‌ها را رسم کنید.



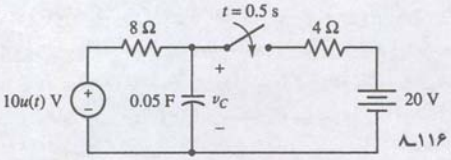
شکل ۸.۱۱۴

۸۶. در مدار شکل ۸.۱۱۵ v_C را برای $t > 0$ پیدا کنید.



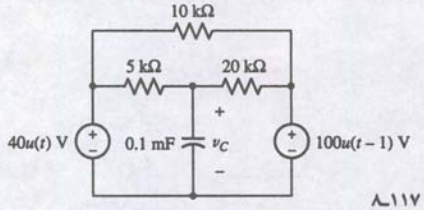
شکل ۸.۱۱۵

۸۷. مقدار $v_C(t)$ را در 0.8s و 0.4 = t در شکل ۸.۱۱۶ به‌دست‌آورید.



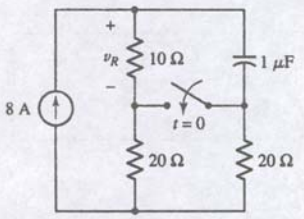
شکل ۸.۱۱۶

۸۸. در مدار شکل ۸.۱۱۷: (الف) $v_C(t)$ را برای همه زمان‌ها پیدا کنید. (ب) $v_C(t)$ را برای $-1 < t < 2s$ رسم کنید. صحت حل خود را با PSpice تحقیق نمایید.



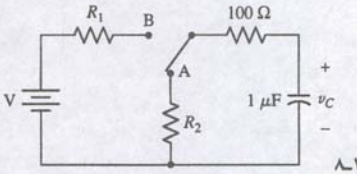
شکل ۸.۱۱۷

۸۹. در مدار شکل ۸.۱۱۸، $v_R(t)$ را برای (الف) $t < 0$ و (ب) $t > 0$ پیدا کنید. اکنون فرض کنید که این کلید که برای مدت‌ها بسته بوده در $t = 0$ باز شود. $v_R(t)$ را برای (ج) $t < 0$ و (د) $t > 0$ به‌دست‌آورید.



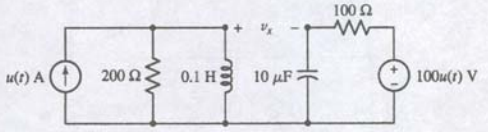
شکل ۸.۱۱۸

۹۰. کلید در شکل ۸.۱۱۹ از مدت‌ها قبل در A بوده است. در $t = 0$ به B برده می‌شود، و در $t = 1ms$ به A بازگردانده می‌شود. R_1 و R_2 را طوری تعیین کنید که $v_C(1ms) = 8V$ و $v_C(2ms) = 1V$ باشد.



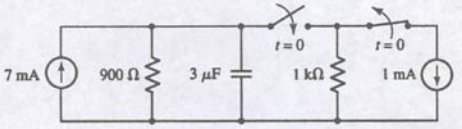
شکل ۸.۱۱۹

۹۱. برای شکل ۸.۱۲۰ اولین زمان پس از $t = 0$ را که در آن برای اولین بار $v_x = 0$ است، مشخص کنید.



شکل ۸.۱۲۰

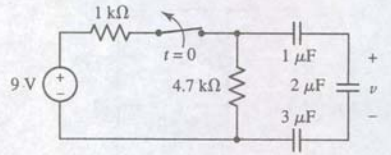
۹۲. در مدار شکل ۸.۱۲۱، یک کلید در $t = 0$ باز و دیگری همزمان بسته می‌شود. توان جذب‌شده با مقاومت 1kΩ در فاصله $-1ms < t \leq 7ms$ را به‌دست‌آورید. در $t = 0$ منبع 1mA نیز خاموش شده است.



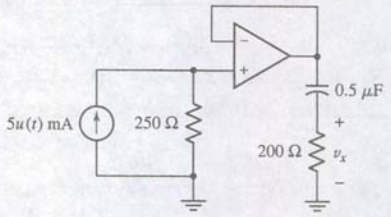
شکل ۸.۱۲۱

۹۳. اگر کلید در شکل ۸.۱۲۲ برای مدتی بسته بوده باشد، (الف) v را در $t = 5.45ms$ معین کنید. (ب) توان تلف‌شده به وسیله مقاومت 4.7kΩ را در $t = 1.7ms$ به‌دست‌آورید. (ج) انرژی کل تبدیل‌شده به حرارت را در مقاومت 4.7kΩ پس از بازشدن کلید محاسبه کنید.

۹۴. فرض کنید که op amp شکل ۸.۱۲۳ ایده‌آل باشد. $v_x(t)$ را برای همه زمان‌های t پیدا کنید.

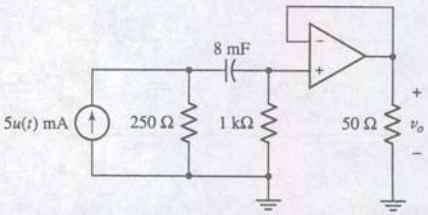


شکل ۸ـ۱۲۲



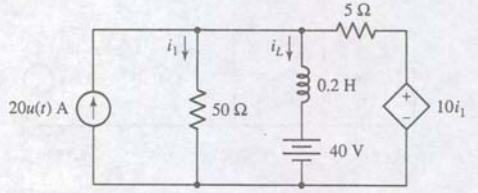
شکل ۸ـ۱۲۳

۹۵. فرض کنید که op amp در شکل ۸ـ۱۲۴، ایده‌آل باشد. (الف) $v_0(t)$ را برای همه زمان‌های t بیابید. (ب) صحت حل خود را با PSpice تحقیق کنید (راهنمایی: می‌توانید توابع را با probe رسم کنید و برای این کار با واردکردن عبارت در جعبه Trace Expression انجام دهید).



شکل ۸ـ۱۲۴

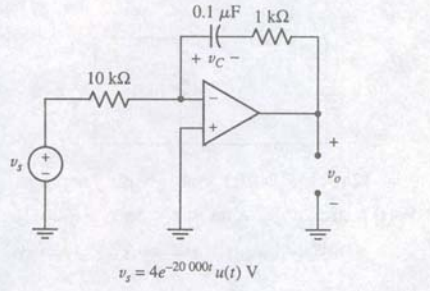
۹۶. (الف) در مدار RL شکل ۸ـ۱۲۵، $i_L(0)$ را بیابید. با PSpice و مقدار اولیه بخش (الف) i_L را در $t = 50\text{ms}$ به‌دست‌آورید.



شکل ۸ـ۱۲۵

۹۷. (الف) فرض کنید که op amp شکل ۸ـ۱۲۶ ایده‌آل و $v_C(0) = 0$ باشد. $v_0(t)$ را برای همه زمان‌ها به‌دست‌آورید. (ب) صحت حل خود را با PSpice تحقیق کنید (راهنمایی: می‌توانید توابع را با واردکردن عبارت در Trace Expression انجام دهید).

۹۸. مداری طراحی کنید که پس از خاموش‌شدن کلید 5s روشن باقی بماند. لامپ را 40W و تغذیه ac را 115V فرض کنید.



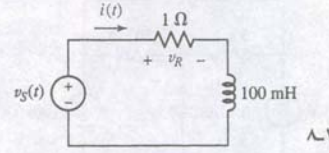
شکل ۸ـ۱۲۶

۹۹. یک آشکارساز حرکت که به عنوان بخشی از سیستم حفاظتی به‌کاررفته است نسبت به تغییرات منبع الکتریکی حساس به نظر می‌رسد. یک راه‌حل واردکردن مدار تأخیر بین سنسور و مدار آلارم است تا اعلان خطاهای غلط حداقل شود. فرض کنید معادل تونن سنسور مقاومتی $2.37\text{k}\Omega$ سری با منبع 1.5V باشد و مقاومت معادل تونن آلارم نیز $1\text{M}\Omega$ است. مداری طراحی کنید که بتواند بین سنسور و مداری که حداقل تأخیر 1 ثانیه تولید کند قرار گیرد. مدار سنسور/آلارم به طریق زیر کار می‌کند: سنسور مرتباً جریان کوچکی به آلارم می‌فرستد مگر این‌که حرکتی شناسایی شود. در این حال جریان متوقف می‌گردد.

۸ـ۹ پیش‌بینی پاسخ مدارهای سوئیچ‌شده متوالی

۱۰۰. (الف) یک موج پالسی PSpice برای مدل موج ولتاژ v_B مسئله ۵۳ بسازید و با Prob آن را رسم نمایید (راهنمایی: منبع را به یک مقاومت برای انجام یک شبیه‌سازی وصل کنید). (ب) یک شکل موج در PSpice برای مدل‌سازی موج i_C در مسئله ۵۳ ساخته و آن را با Probe رسم کنید.

۱۰۱. ولتاژ مقاومت v_R مدار شکل ۸ـ۱۲۷ را در پاسخ به یک موج $v_s(t)$ رسم کنید. حداقل مقدار $v_s(t)$ برابر 0 V است و حداکثر آن 3 V می‌باشد، پهنای پالس 2 s و پریود 5 s است. شکل خود را بین $0 \le t \le 20$ s ترسیم کنید. (ب) نمودار خود را با اجرای PSpice امتحان کنید.



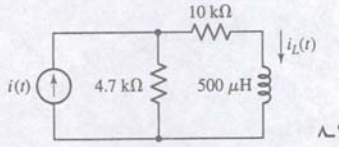
شکل ۸ـ۱۲۷

۱۰۲. جریان القاگر i در مدار شکل ۸ـ۱۲۸ از در پاسخ به موج پالسی $v_s(t)$ رسم کنید. حداقل مقدار $v_s(t)$ برابر 0 V است و حداکثر آن 5 V می‌باشد، پهنای پالس 5 s و پریود 5.5 s است. ترسیم خود را بین $0 \le t \le 20$ s ... کنید. (ب) نمودار خود را با اجرای PSpice امتحان کنید.

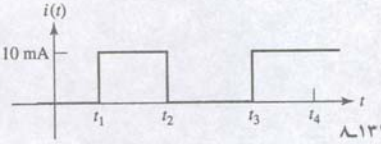
(الف) $t_1 = 4$ ns، $t_2 = 160$ ns، $t_3 = 164$ ns، $t_4 = 200$ ns
(ب) $t_1 = 150$ ns، $t_2 = 300$ ns، $t_3 = 450$ ns
(ج) $t_1 = 150$ ns، $t_2 = 200$ ns، $t_3 = 350$ ns، $t_4 = 500$ ns و $t_4 = 400$ ns.

شکل ۸ـ۱۲۸

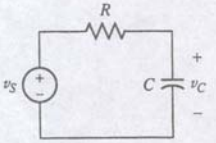
۱۰۳. منبع ولتاژ v_s شکل ۸ـ۱۲۹ یک منبع پالسی با حداقل مقدار 2 V و حداکثر 10 V می‌باشد. پهنای پالس 4 RC است. نمودار ولتاژ خازن را اگر زمان بین پالس‌های v_s برابر با (الف) 0.1 RC؛ (ب) RC؛ و (ج) 10 RC باشد را رسم نمایید.



شکل ۸ـ۱۳۰



شکل ۸ـ۱۳۱



شکل ۸ـ۱۲۹

۱۰۴. با مراجعه به مدار شکل ۸ـ۱۳۰، $i_L(t)$ را در پریود $0 \le t \le t_4$ رسم کنید به شرطی که $i(t)$ طبق شکل ۸ـ۱۳۱ باشد.