

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دعای پیش از مطالعه

اَللّٰهُمَّ اَخْرِجْنِيْ مِنْ ظُلُمَاتِ الْوَهْمِ وَاكْرِمْنِيْ بِنُورِ الْفَهْمِ
اَللّٰهُمَّ افْتَحْ عَلَيْنَا اَبْوَابَ رَحْمَتِكَ وَاَنْشُرْ عَلَيْنَا خَزَائِنَ عُلُوْمِكَ
بِرَحْمَتِكَ يَا اَرْحَمَ الرَّاحِمِيْنَ

پروردگارا، خارج کن مرا از تاریکی های فکر و گرامی بدار به نور فهم
پروردگارا، بگشای بر ما در های رحمت را و بگستران کنج های دانشت را به امید رحمت
تو ای مهربان ترین مهربانان

بیایید به حقوق دیگران احترام بگذاریم

دوست عزیز، این کتاب حاصل دسترنج چندین ساله ی مؤلف، مترجم و ناشر آن است. تکثیر و فروش آن به هر شکلی بدون اجازه از پدیدآورنده کاری غیراخلاقی، غیرقانونی، غیرشرعی و کسب درآمد از دسترنج دیگران است، نتیجه ی این عمل نادرست، موجب رواج بی اعتمادی در جامعه و بروز پی آمدهای ناگوار در زندگی و محیط ناسالم برای خود و فرزندانمان می گردد.



درسنامه مدارهای الکتریکی

«بیوالکتریک»

ویژه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی «بیوالکتریک»

تألیف و گردآوری:
امین ابوطالبی

سرشناسه

: ابوطالبی، امین، ۱۳۶۴ - ، گردآورنده

عنوان و نام پدیدآور

: AGK درسنامه مدارهای الکتریکی «بیوالکتریک»: ویژه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی

«بیوالکتریک»/ تألیف و گردآوری امین ابوطالبی

مشخصات نشر

: تهران: آناهید گستر خلیلی، ۱۴۰۴.

مشخصات ظاهری

: ۳۱۵ص: مصور، نمودار؛ ۲۹×۲۲ س.م.

شابک

: 978-622-4907-77-6

وضعیت فهرست‌نویسی

: فیپا

موضوع

: مدارهای برقی -- راهنمای آموزشی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)

Electric circuits -- Study and teaching -- Problems, exercise, etc (Higher)

مهندسی پزشکی -- راهنمای آموزشی -- مسائل و تمرین‌ها و غیره (عالی)

Biomedical engineering-- Study and teaching -- Problems, exercise, etc (Higher)

رده‌بندی کنگره

: TK۴۵۴

رده‌بندی دیویی

: ۶۲۱/۳۱۹۲۰۷۶

شماره کتابشناسی ملی

: ۹۹۰۱۴۳۳



انتشارات آناهید گستر خلیلی

نام: AGK درسنامه مدارهای الکتریکی «بیوالکتریک»

(ویژه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی «بیوالکتریک»)

تألیف و گردآوری: امین ابوطالبی

ناشر: آناهید گستر خلیلی

نوبت و سال چاپ: اول. ۱۴۰۴

شمارگان: ۱۰۰۰

چاپ و صحافی: گیلان

مدیر تولید: امیرحسین خلیلی

مدیر فنی و هنری: مریم آرده

تایپ و صفحه‌آرایی: آرزو راضی

بهاء: ۴۵۰۰۰۰ تومان

آموزشگاه/ فروشگاه: ۰۲۱۶۶۵۶۸۶۲۱

مرکز پخش: ضلع جنوب غربی میدان انقلاب . جنب بانک پارسیان . مجتمع تجاری پارس . طبقه اول

مدیر فروش: ۰۹۱۹۱۶۸۵۹۷۰ (ارتباط از طریق پیامک)

 agkpublisher@gmail.com

 www.agkins.com

طلیحه سخن مدیر تولید:

سپردن کار به اهلش نشانه‌ی خردمندی است.

برای تولید بسته‌های آموزشی تمام تلاش خود را به کار گرفته‌ایم تا محصولی شایسته را تقدیم شما عزیزان نماییم.

مجموعه‌ای که پیش روی شماست براساس معتبرترین و به‌روزترین منابع کنکور و به قلم مجرب‌ترین اساتید تألیف شده است و مطالعه آن موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه شما خواهد شد. ارائه بالاترین آمار قبولی در کنکور کارشناسی ارشد و دکتری در دهه اخیر بیان‌گر توانایی این مجموعه در راستای اهداف آموزشی خود می‌باشد. اینک با اتکا به تجربه‌ای ۱۷ ساله می‌توانیم ادعا کنیم که مجموعه حاضر، بی‌شک از جمله کامل‌ترین و به‌روزترین بسته‌های آموزشی موجود در عرصه کنکور می‌باشد.

❧ برخی از ویژگی‌های بسته‌های آموزشی:

- منطبق با معتبرترین و به‌روزترین منابع کنکور
- گردآوری و تألیف توسط مجرب‌ترین اساتید کنکور
- تدریس مطالب از سطح پایه تا پیشرفته به بیان ساده و روان
- انتقال بهتر مفاهیم با استفاده از شکل، جدول و نمودار
- تألیف مبتنی بر نحوه‌ی طراحی سوالات کنکور
- مطالعه یک منبع منسجم به جای مطالعه چندین منبع مختلف
- منبعی خودآموز و بدون نیاز به مدرس

اینک علاوه بر مطالعه بسته‌های آموزشی استفاده از خدمات و محصولات زیر را به عنوان ضمانتی برای قبولی به شما داوطلبان عزیز توصیه می‌کنم؛

❧ آزمون‌های آزمایشی: خوش بود گر محک تجربه آید به میان

داوطلب شجاع کیست؟ داوطلبی است که خود را مورد سنجش (خود را با خود) و ارزیابی (خود را با دیگران) قرار دهد تا پیش از کنکور به نقاط ضعف خود پی ببرد و آن‌ها را تقویت نماید. آزمون‌های آزمایشی دارای یک برنامه‌ریزی منسجم است و به شما اولتیماتوم می‌دهد. یعنی شما باید در یک زمان معین مطالب معینی را مطالعه نمایید.

آزمون‌های آزمایشی مجموعه دارای سوالات استاندارد، پاسخنامه تشریحی و کارنامه تحلیلی می‌باشد. صادقانه شرکت در آزمون‌های آزمایشی را به شما عزیزان توصیه می‌کنم.

❧ مشاوره تخصصی و برنامه‌ریزی: زیر نظر حرفه‌ای‌ها درس بخوانید ...

در صورتی که نمی‌توانید با توجه به زمان آزادتان برنامه‌ی مطالعاتی استاندارد را برای خود تدوین کنید حتماً از افراد متخصص کمک بخواهید. افرادی که تجربیات خود را صادقانه در اختیار شما قرار می‌دهند و برنامه‌ریزی مناسب با شرایط شما را انجام می‌دهند.

📖 کتاب تست:

کوچک‌ترین واحد یادگیری در کنکور، تست است.

شما می‌توانید برای این‌که سطح یادگیری خود را پس از مطالعه بسنجید از کتاب‌های تست مجموعه (تست کنکور) و ماطراحان (تست‌های تألیفی) استفاده کنید. این کتاب‌ها به‌صورت موضوعی طبقه‌بندی شده‌اند و می‌توانند نحوه‌ی طرح سوالات کنکور و سطح آن‌ها را به‌صورت واضح به شما نشان دهند.

📖 درسنامه‌های نکات داغ و کتاب‌های الگوریتم مناسب‌ترین منابع برای دوران مرور و جمع‌بندی:

بیش‌تر داوطلبان حین مطالعه نگران خلاصه‌نویسی و مرور آموخته‌های خود هستند و برای خلاصه‌نویسی زمان زیادی را صرف می‌کنند. اینک به شما مژده می‌دهیم که این‌بار زمان به نفع شما در حال گذر است و دیگر با استفاده از درسنامه‌های نکات داغ و کتاب‌های الگوریتم نیاز به خلاصه‌نویسی ندارید.

شما می‌توانید نظرات، انتقادات و پیشنهادهای سازنده خود را در مورد بسته‌های آموزشی به شماره‌تلفن همراه ۰۹۱۹۱۶۸۵۹۷۰ فقط و فقط پیامک نمایید.

مشاور و مدیر تولید

امیرحسین خلیلی

طلیحه سخن مؤلف:

رشته‌ی نسبتاً نوپای مهندسی پزشکی که امروزه با سرعتی بسیار زیاد در حال فراگیر شدن است، نه فقط به دلیل عمر کم، بلکه علاوه بر آن به خاطر ماهیت بین رشته‌ای آن نیز دچار کم‌لطفی‌ای بسیاری گشته و علی‌رغم تلاش‌ای گوناگون متخصصان، استادان و دانشجویان آن، هنوز تا کسب جایگاه واقعی خود در دانشگاه، جامعه، صنعت و حوزه سلامت فاصله زیادی دارد.

درس «سیگنال‌ها و سیستم‌ها» یکی از دروس تخصصی دانشجویان مهندسی پزشکی محسوب می‌شود که از مجموعه دروس پایه رشته مهندسی برق می‌باشد. این درس پایه و اساس رشته مهندسی پزشکی بوده که به تجزیه و تحلیل انواع سیگنال‌ها و سیستم‌های مورد استفاده در رشته مهندسی پزشکی (بیوالکتریک) پرداخته و نحوه عملکرد آن‌ها را به‌صورت تئوری و با استفاده از روابط ریاضی بیان می‌دارد که دانستن این مفاهیم پایه، لازمه کار با این سیگنال‌ها و شناخت سیستم‌های مربوطه می‌باشد. از سوی دیگر این درس یکی از مواد امتحانی مهم مورد نیاز دانشجویان مهندسی پزشکی در آزمون‌های کارشناسی ارشد و دکتری محسوب می‌گردد و به همین خاطر ضرورت وجود منبعی مناسب و کامل برای این درس به خوبی محسوس است. درسنامه پیش رو که برای پاسخ به همین ضرورت و نیاز ارائه گردیده است، حاصل تجربه‌ی تدریس نویسنده در برنامه در دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی مختلف در رشته مهندسی برق و مهندسی پزشکی و آنالیز سؤالات آزمون‌های کارشناسی ارشد و دکتری در رشته‌های مختلف مهندسی برق، مهندسی کامپیوتر، مهندسی پزشکی و ... می‌باشد.

در تألیف این درسنامه سعی شده با استفاده از جدیدترین و بروزترین روش‌ها، مباحث مربوطه توضیح داده شوند و در بیان مسائل آزمونی حداکثر ساده‌سازی و نکات مهم و کلیدی بیان شوند.

همچنین مطالب این درسنامه به صورتی کامل و در عین حال خلاصه و مختصر و مفید جمع‌آوری و سعی شده است تا علاوه بر این که شامل کلیه سرفصل‌های یک درس دانشگاهی باشد، تمامی نکات مورد نیاز داوطلبان آزمون‌های کارشناسی ارشد و دکتری را نیز پوشش دهد.

استقبال کم‌نظیر دانشجویان، استادان و علاقه‌مندان از کتاب‌های «سیگنال‌ها و سیستم‌ها» در طی این چند سال، همواره انگیزه بخش نگارنده این کتاب در تألیف کتابی جامع و کامل با بیانی ساده و مورد نیاز آزمون‌های تحصیلات تکمیلی بوده است.

البته ناگفته نماند که هیچ‌گاه چاپ این درسنامه امکان‌پذیر نمی‌شد مگر با پیگیری مداوم و مستمر دست‌اندرکاران انتشارات آناهیدگستر خلیلی به ویژه جناب آقای دکتر احمد خلیلی، جناب آقای امیرحسین خلیلی و سرکار خانم مریم آرده که بی‌شک سزاوار ادای احترام خالصانه مؤلف درسنامه سیگنال‌ها و سیستم‌ها هستند.

نگارنده درسنامه دست تمامی منتقدان و صاحب‌نظران مهندسی پزشکی را می‌فشارند و بی‌صبرانه مہیای شنیدن هرگونه نظر و پیشنهادی به‌منظور افزایش کیفیت این اثر ناقابل می‌باشد.

با احترام

امین ابوطالبی.

aminabutalebi@gmail.com

فصل اول: مبانی مدارهای الکتریکی	۹
فصل دوم: مدارهای مقاومتی و روش‌های تحلیل	۲۹
فصل سوم: مدارهای معادل	۴۳
فصل چهارم: مدارهای مرتبه اول	۶۳
فصل پنجم: مدارهای مرتبه دوم	۸۹
فصل ششم: مدارهای خطی تغییرناپذیر با زمان از مرتبه n	۱۰۸
فصل هفتم: تجزیه و تحلیل در حالت دائمی سینوسی	۱۱۹
فصل هشتم: تجزیه و تحلیل مدارهای با القای متقابل (تزوید)	۱۵۰
فصل نهم: روش‌های منظم تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی	۱۷۲
فصل دهم: معادلات حالت	۱۸۶
فصل یازدهم: تبدیل لاپلاس و کاربرد آن در تحلیل مدار	۱۹۹
فصل دوازدهم: فرکانس‌های طبیعی مدار	۲۲۹
فصل سیزدهم: دوقطبی‌ها	۲۵۰
فصل چهاردهم: قضایای شبکه	۲۷۳
فصل پانزدهم: مدار دوگان مقدار متوسط و مقدار مؤثر	۲۸۳
فصل شانزدهم: مجموعه تست آزمون‌های سال‌های قبل	۲۸۹

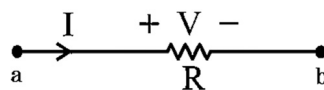
مبانی مدارهای الکتریکی

این فصل مهم‌ترین و پایه‌ای‌ترین بخش در یادگیری درس مدارهای الکتریکی و حتی سایر دروس مرتبط با آن است، به‌طوری که مطالب بیان شده در این فصل مبنای تمام فصل‌های بعدی می‌باشد. پس در این فصل سعی بر این است که مفاهیم اولیه و اجزای تشکیل‌دهنده مدارهای الکتریکی و ویژگی آن‌ها به‌طور کامل و با بیانی ساده و روان مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۱- عناصر مداری

۱-۱-۱- مقاومت

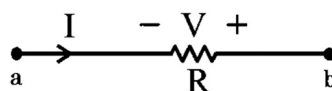
مقاومت یک المان دو سر است که رابطه‌ی ولتاژ و جریان آن توسط منحنی مشخصه‌ی ولتاژ-جریان قابل بیان می‌باشد. مشخصه‌ی ولتاژ-جریان یعنی رابطه‌ای را که بین ولتاژ و جریان یک مدار وجود دارد که در یک شکل مشخص می‌کنیم. شکل یک مقاومت به‌صورت زیر است:



یکی از مهم‌ترین چیزهایی که باید توجه ویژه‌ای به آن داشت، جهت ولتاژ و جهت جریان است که به‌صورت جهت قراردادی بیان می‌شود. جهت قراردادی به این صورت است که آن سر المان که جریان به آن وارد می‌شود، دارای ولتاژ مثبت است و سر دیگر که جریان از آن خارج می‌شود، دارای ولتاژ منفی است. به عبارت دیگر:

$$V = V_a - V_b, \quad I = \frac{V}{R} = \frac{V_a - V_b}{R}$$

حال اگر عکس قرارداد فوق اتفاق بیافتد، یک علامت منفی در رابطه بالا ظاهر می‌شود:



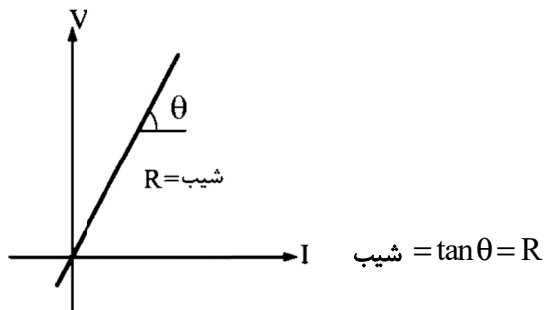
$$V = V_b - V_a = -(V_a - V_b), \quad I = -\frac{V}{R} = -\frac{V_b - V_a}{R} = \frac{V_a - V_b}{R}$$

مقدار جریان در دو حالت برابر است، ولی علامت منفی بیان‌کننده جهت جریان می‌باشد؛ یعنی جهت جریان در حالت دوم برعکس جهت جریان در حالت اول است.

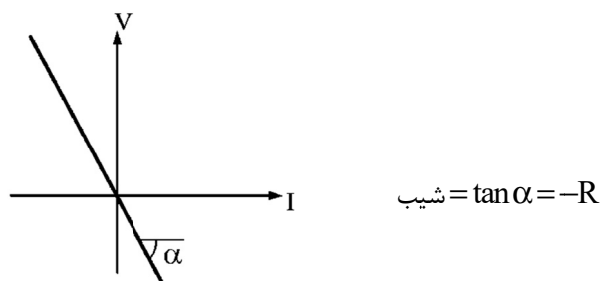
معمولا مقاومت‌ها به سه صورت وجود دارند:

۱. مقاومت خطی و تغییرناپذیر با زمان: رابطه‌ی ولتاژ-جریان برای این نوع از مقاومت‌ها به صورت $V=RI$ است که R مقدار مقاومت و عددی ثابت می‌باشد.

در این حالت مشخصه‌ی ولتاژ-جریان براساس جهت قراردادی ولتاژ و جریان به صورت زیر است:



و اگر جهت‌های ولتاژ و جریان را برعکس در نظر بگیریم در این صورت مشخصه ولتاژ-جریان آن به صورت زیر است:



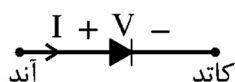
۲. مقاومت خطی و تغییرپذیر با زمان: رابطه‌ی ولتاژ-جریان به صورت $V(t)=R(t)I(t)$ است که $R(t)$ مقدار مقاومت و متغیر با زمان می‌باشد.

۳. مقاومت غیرخطی: رابطه‌ی ولتاژ-جریان در این نوع مقاومت به صورت $V=f(I)$ می‌باشد. (ولتاژ تابع جریان است)

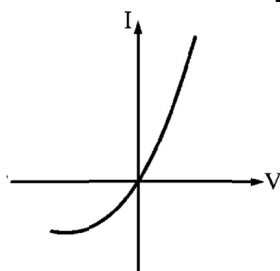
در این صورت مقدار مقاومت در نقطه‌ی کار را می‌توان از رابطه‌ی $\left. \frac{dV}{dI} \right|_{I_0}$ به دست آورد.

۱-۱-۲- دیود

دیود یک المان دو سر می‌باشد که جریان را فقط در یک جهت عبور می‌دهد.



مشخصه جریان-ولتاژ یک دیود واقعی به صورت زیر است:



اگر دیود را به صورت ایده‌آل در نظر بگیریم، می‌توان آن را به صورت زیر مدل‌سازی نمود:

$$V=0$$

— هرگاه ولتاژ آند از کاتد بیش‌تر باشد، دیود اتصال کوتاه یا S.C. است؛ یعنی:

$$I=0$$

— هرگاه ولتاژ کاتد از آند بیش‌تر شود، دیود اتصال باز یا O.C. است؛ یعنی:

به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت:

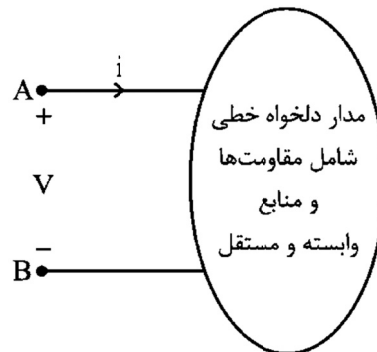
دیود وصل $\rightarrow$ (S.C) دیود اتصال کوتاه $\rightarrow$ ولتاژ کاتد $>$ ولتاژ آند

دیود قطع $\rightarrow$ (O.C) دیود اتصال باز $\rightarrow$ ولتاژ کاتد $<$ ولتاژ آند

بر این اساس و با توجه به جهت‌های ولتاژ و جریان هر دیود، می‌توان مشخصه جریان-ولتاژ را رسم کرد.

مدارهای معادل

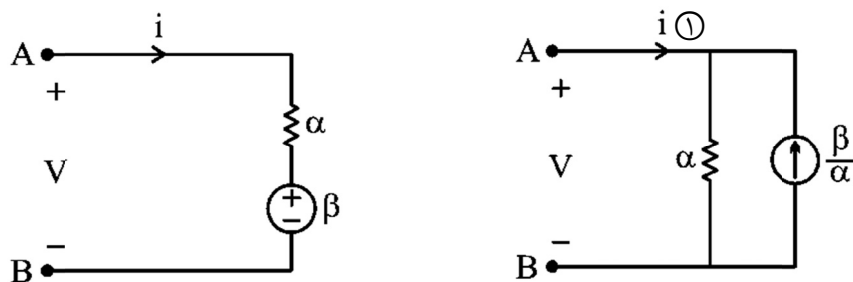
می‌توان هر شبکه خطی شامل هر تعداد مقاومت و منبع مستقل و وابسته را با یک شبکه شامل فقط یک مقاومت و یک منبع ولتاژ یا منبع جریان مدل‌سازی نمود. این مدل‌سازی تجزیه و تحلیل مدار را بسیار ساده و آسان می‌کند. برای درک بهتر این موضوع، فرض کنید درون شبکه زیر یک مدار خطی شامل مقاومت‌ها و منابع وابسته و مستقل وجود دارد.



با توجه به خطی بودن مدار می‌توان گفت رابطه‌ی ولتاژ و جریان در این شبکه به صورت زیر است:

$$V = \alpha i + \beta$$

با در نظر گرفتن رابطه‌ی فوق می‌توان مدارهای زیر را برای شبکه فوق مدل‌سازی نمود:



اگر در مدار اول KVL و در گره ۱ از مدار دوم KCL بزنیم به رابطه‌ی فوق می‌رسیم.

۳-۱- مدارهای معادل تونن و نورتن

معادل‌سازی‌های فوق را مدارهای معادل تونن و نورتن می‌نامیم.

KVL: $V = R(I - K_i) = RI - \frac{RK(R + Z_b)}{R(K + 1) + Z_b} I$

$$\rightarrow V = \left(R - \frac{K(R + Z_b)}{R(K + 1) + Z_b} \right) I = \frac{R^2 + R(1 - K)Z_b}{R(K + 1) + Z_b} I$$

$$Z_{in} = \frac{V}{I} = \frac{R^2 + RZ_b(1 - K)}{R(K + 1) + Z_b} = \frac{-RZ_bK + (R^2 + RZ_b)}{RK + (R + Z_b)}$$

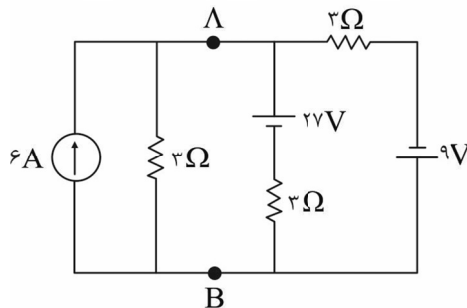
بنابراین:

$$\lim_{K \rightarrow \infty} Z_{in} = -\frac{RZ_b}{R} = -Z_b$$

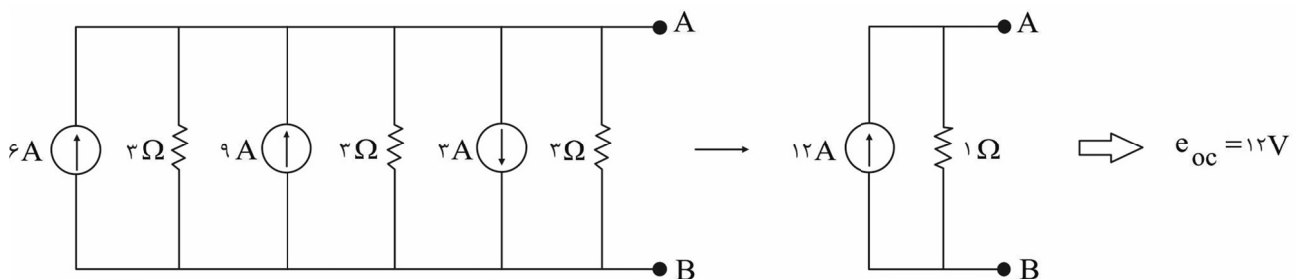
در نتیجه:

۲۰. گزینه «۱»

هر عنصری موازی با منبع ولتاژ و سری با منبع جریان قابل حذف است، پس مدار به صورت زیر ساده می شود.



با تبدیل منابع ولتاژ به جریان داریم:

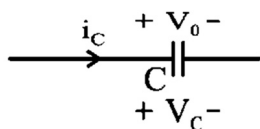


مدارهای مرتبه اول

در فصل‌های قبل، روابط بین ولتاژ و جریان عناصر به صورت جبری بود؛ بنابراین معادلات ناشی از KCL و KVL زدن همگی جبری می‌شدند. اما با ورود خازن و سلف به این مدارات، روابط به صورت معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی تبدیل می‌شوند. اگر معادله بیان‌کننده یک مدار به صورت معادله دیفرانسیل مرتبه اول باشد، به آن مدار، مرتبه اول گفته می‌شود. ابتدا به معرفی دو عنصر خازن و سلف که دو عنصر حافظه‌دار می‌باشند، می‌پردازیم. حافظه‌دار بودن خازن و سلف به این معنی است که مقدار ولتاژ (جریان) در آن‌ها به مقادیر گذشته جریان (ولتاژ) بستگی دارد. بر همین اساس است که برای خازن، ولتاژ اولیه و برای سلف، جریان اولیه بیان می‌شود؛ ولی در مقاومت چنین مفاهیمی نداشتیم.

۴-۱- خازن

در فصل اول به طور کامل به معرفی خازن پرداختیم. در این قسمت اشاره‌ای مختصر به روابط و اتصالات خازن‌ها داریم. برای هر خازن می‌توان گفت:



$$q = C.V$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

$$V = V_o + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

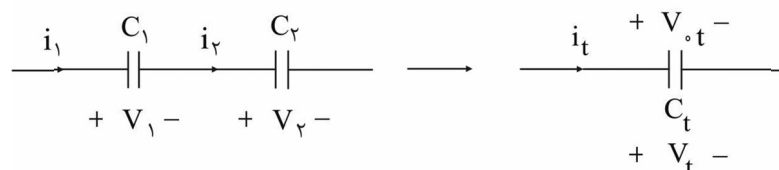
$$W = \frac{1}{2} q.V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

که در این روابط q بار الکتریکی برحسب کولن، C ظرفیت خازن برحسب فاراد، V ولتاژ برحسب ولت، i جریان برحسب آمپر، V_o ولتاژ اولیه خازن برحسب ولت و W انرژی خازن برحسب ژول می‌باشند.

در اتصال سری خازن‌ها می‌توان گفت:

$$C_t = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \right)^{-1}$$

$$+ V_{o1} - \quad + V_{o2} -$$



$$V_{ot} = V_{o1} + V_{o2} + \dots$$

ولتاژ اولیه خازن معادل

مدارهای خطی تغییرناپذیر با زمان از مرتبه‌ی n

سیستم‌های LTI که به آن‌ها مدارهای خطی تغییرناپذیر با زمان گفته می‌شود با یک معادله دیفرانسیل مرتبه‌ی n توصیف می‌شوند. روش تجزیه و تحلیل این مدارها، همانند مدارهای مرتبه اول و دوم است که با استفاده از تجزیه و تحلیل گره و مش، یک معادله دیفرانسیل مرتبه n با ضرایب ثابت به دست می‌آید.

۶-۱- تجزیه و تحلیل مدارهای خطی تغییرناپذیر با زمان (LTI) مرتبه‌ی n أم

معادله دیفرانسیل این نوع مدارها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m W}{dt^m} + \dots + b_0 W$$

که در آن W ورودی و y خروجی است.

همراه این معادله دیفرانسیل، n تا شرط اولیه لازم است. شرایط اولیه را می‌توان از معادلات اولیه گره یا مش در زمان $t = 0$ به دست آورد.

۶-۱-۱- پاسخ ورودی صفر

برای به دست آوردن پاسخ ورودی صفر، سمت راست معادله دیفرانسیل فوق را برابر صفر قرار می‌دهیم و در معادله‌ی همگن حاصل، با به دست آوردن ریشه‌های معادله مشخصه و استفاده از انواع پاسخ‌های مطرح شده در مدارهای مرتبه‌ی دوم، پاسخ ورودی صفر را مشخص می‌کنیم. در این حالت معادل هر دسته از ریشه‌های معادله مشخصه، یک دسته جواب خاص داریم.

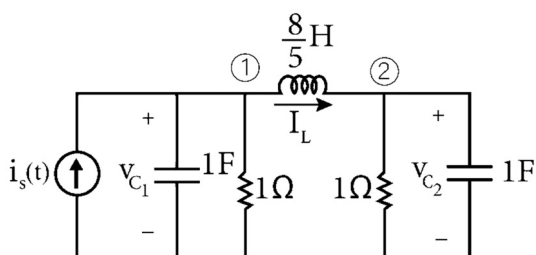
با توجه به مرتبه‌ی معادله‌ی دیفرانسیل به دست آمده (مرتبه‌ی n أم)، برای یافتن ضرایب پاسخ، از شرایط اولیه و شرایط اولیه مشتق (تا مشتق مرتبه‌ی $(n-1)$ أم) استفاده می‌کنیم.

برای درک بهتر و کامل این موضوع، مثال زیر را بررسی می‌نماییم.

مثال ۱: در مدار شکل زیر، معادله دیفرانسیلی برحسب V_{C_1}

بنویسید و پاسخ ورودی صفر را برای آن به دست آورید.

$$V_{C_1}(0) = V_{C_2}(0) = i_L(0) = 1$$



با KCL زدن در گره‌های ۱ و ۲ داریم:

$$KCL(1): \frac{V_1}{1} + \frac{dV_{C_1}}{dt} + I_0 + \frac{\Delta}{\lambda} \int_0^t (V_1 - V_2) dt = i_S(t)$$

$$KCL(2): \frac{V_2}{1} + \frac{dV_{C_2}}{dt} - I_0 + \frac{\Delta}{\lambda} \int_0^t (V_2 - V_1) dt = 0$$

اگر دو رابطه‌ی فوق را با هم جمع کنیم:

$$V_1 + V_2 + \frac{dV_{C_1}}{dt} + \frac{dV_{C_2}}{dt} = i_S(t) \rightarrow V_1 + \frac{dV_1}{dt} + V_2 + \frac{dV_2}{dt} = i_S(t)$$

و با مشتق‌گیری از رابطه‌ی KCL در گره ۲ داریم:

$$\frac{dV_2}{dt} + \frac{d^2 V_2}{dt^2} + \frac{\Delta}{\lambda} (V_2 - V_1) = 0$$

با توجه به دو رابطه‌ی آخر و با حذف V_1 و $\frac{dV_1}{dt}$ داریم:

$$\begin{cases} V_1 + \frac{dV_1}{dt} = i_S(t) - V_2 - \frac{dV_2}{dt} \\ \frac{dV_2}{dt} + \frac{d^2 V_2}{dt^2} + \frac{\Delta}{\lambda} (V_2 - i_S(t) - V_2 - \frac{dV_2}{dt} - \frac{dV_1}{dt}) = 0 \end{cases} \rightarrow \frac{d^3 V_2}{dt^3} + 2 \frac{d^2 V_2}{dt^2} + \frac{9}{4} \frac{dV_2}{dt} + \frac{\Delta}{4} V_2 = \frac{\Delta}{\lambda} i_S(t)$$

$$S^3 + 2S^2 + \frac{9}{4}S + \frac{\Delta}{4} = 0$$

معادله مشخصه برابر است با:

$$S_1 = -1, S_{2,3} = -\frac{1}{2} \pm j$$

با حل این معادله‌ی درجه ۳، ریشه‌های آن برابر است با:

بنابراین فرم کلی پاسخ $V_2(t)$ به صورت زیر است:

$$V_2(t) = Ke^{-t} + e^{-\frac{t}{2}} (A \cos t + B \sin t)$$

برای یافتن ضرایب K، A و B نیازمند سه شرط اولیه برای $V_2(t)$ هستیم.

$$V_{C_1}(0) = V_2(0) = 1V$$

با توجه به شرایط اولیه مطرح شده در سؤال:

دو شرط اولیه دیگر را باید از شرایط اولیه مشتق به دست آوریم:

برای به دست آوردن $\frac{dV_2(0)}{dt}$ ، در رابطه‌ی KCL در گره ۲، $t=0$ قرار می‌دهیم.

$$V_2(0) + \frac{dV_2(0)}{dt} - I_0 + \underbrace{\frac{\Delta}{\lambda} \int_0^0 (\dots) dt}_0 = 0 \rightarrow 1 + \frac{dV_2(0)}{dt} - 1 + 0 = 0 \rightarrow \frac{dV_2(0)}{dt} = 0$$

و برای $\frac{d^2 V_2(0)}{dt^2}$ ، در رابطه‌ی مشتق KCL در گره ۲، $t=0$ قرار می‌دهیم.

$$\frac{dV_2(0)}{dt} + \frac{d^2 V_2(0)}{dt^2} + \frac{\Delta}{\lambda} (V_2(0) - V_1(0)) = 0 \rightarrow 0 + \frac{d^2 V_2(0)}{dt^2} + \frac{\Delta}{\lambda} (1 - 1) = 0 \rightarrow \frac{d^2 V_2(0)}{dt^2} = 0$$

پس با توجه به شرایط اولیه به دست آمده داریم:

$$\begin{cases} V_2(0) = 1 \\ \frac{dV_2(0)}{dt} = 0 \\ \frac{d^2 V_2(0)}{dt^2} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} K + A = 1 \\ -K - \frac{1}{2}A + B = 0 \\ K - \frac{3}{4}A - B = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} K = 1 \\ A = 0 \\ B = 1 \end{cases}$$

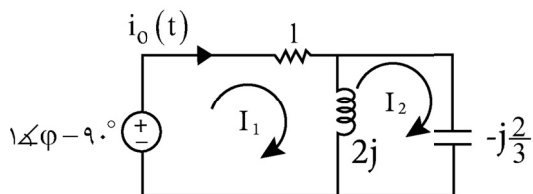
و پاسخ نهایی به صورت زیر است:

$$V_2(t) = e^{-t} + e^{-\frac{t}{2}} \sin t$$

پاسخ تشریحی

۱. گزینه «۳»

مدار را در حالت دائمی سینوسی با $\omega = 1$ رسم می‌کنیم و معادلات مش را به صورت فازوری می‌نویسیم:



$$\begin{aligned} \text{KVL: } 1\angle\varphi - 90^\circ &= I_1 + 2j(I_1 - I_2) \\ \text{KVL: } 2j(I_2 - I_1) - j\frac{2}{3}I_2 &= 0 \end{aligned} \rightarrow \begin{bmatrix} 1+2j & -2j \\ -2j & 2j-\frac{2}{3}j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j\angle\varphi \\ 0 \end{bmatrix}$$

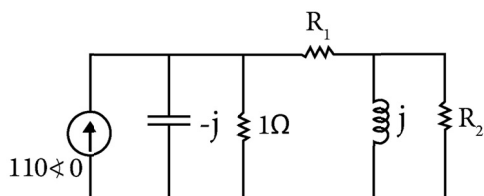
با حل این دستگاه معادلات برای I_1 داریم:

$$I_1 = \left(\frac{1-j}{2} \right) \times (1\angle\varphi) = \frac{\sqrt{2}}{2} \angle\varphi - \frac{\pi}{4} \rightarrow i_o(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{4} + \omega t \right) \rightarrow i_o(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(t + \varphi - \frac{\pi}{4} \right)$$

بنابراین برای این که $i_o(t) = I_m \cos t$ باشد، باید $\varphi = \frac{\pi}{4}$ بوده که در این صورت $I_m = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ خواهد بود.

۲. گزینه «۳»

برای سادگی محاسبات R_1 و R_2 را کنار همدیگر قرار می‌دهیم. برای این منظور مدار را به حالت دائمی سینوسی تبدیل می‌کنیم ($\omega = 1$):



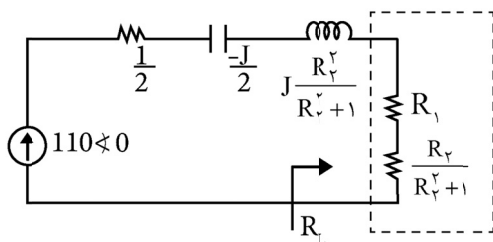
ابتدا شاخه‌ی R_2 موازی یا سلف j را به سری تبدیل می‌کنیم:

$$Z_1 = R_2 \parallel j = \frac{R_2 j}{R_2 + j} \times \frac{R_2 - j}{R_2 - j} = \frac{R_2 j(R_2 - j)}{R_2^2 + 1} = \frac{R_2}{R_2^2 + 1} + j \frac{R_2^2}{R_2^2 + 1}$$

هم‌چنین مقاومت یک اهمی موازی با خازن $-j$ را به سری تبدیل می‌کنیم:

$$Z_2 = 1 \parallel -j = \frac{-j}{1-j} \times \frac{1+j}{1+j} = \frac{-j(1+j)}{1+1} = \frac{1}{2} + \frac{-j}{2}$$

در نهایت مدار به صورت زیر تبدیل می‌شود:



$$R_L = R_1 + \frac{R_2}{R_2^2 + 1}$$

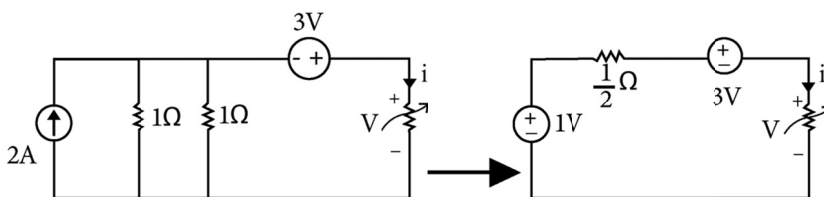
$$R_L = |Z_S| \rightarrow R_1 + \frac{R_2}{R_2^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 + 1} - \frac{1}{2}\right)^2}$$

برای انتقال حداکثر توان به مقاومت R_L باید:

با استفاده از گزینه‌ها به سادگی دیده می‌شود که به ازای $R_1 = 0$ و $R_2 = 1$ ، رابطه‌ی فوق برقرار است.

۳. گزینه «۱»

ابتدا بخش DC مدار را در نظر می‌گیریم تا نقطه کار مقاومت غیرخطی را به دست آوریم.



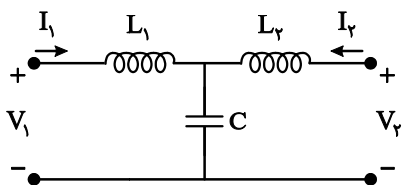
$$\text{KVL: } -1 + \frac{1}{2}i - 3 + V = 0 \xrightarrow{i=V^2} \frac{1}{2}V^2 + V = 4 \rightarrow \begin{cases} V = 2 \text{ Volt} \\ V = -4 \text{ Volt} \end{cases}$$

با استفاده از تبدیل نورتن به تونن داریم:

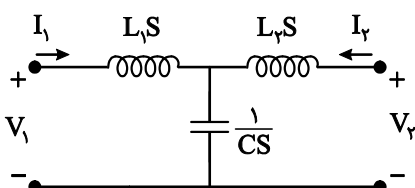
که فقط جواب مثبت قابل قبول است.

اگر در سرهای ۱ و ۲ منابع V_{S1} و V_{S2} را قرار دهیم و روابط ماتریسی حلقه $(V = Z.I)$ را به دست آوریم، در مدارهای دو حلقه‌ای، پارامترهای امپدانس دوقطبی Z برابر با همان ماتریس امپدانس حلقه خواهد بود. اگر مدار دارای بیش از دو حلقه باشد، باید جریان متغیر آن حلقه را به گونه‌ای حذف کرد و برحسب جریان‌های I_1 و I_2 بیان کرد.

مثال ۱: در مدار شکل زیر، ماتریس امپدانس شبکه را به دست آورید.

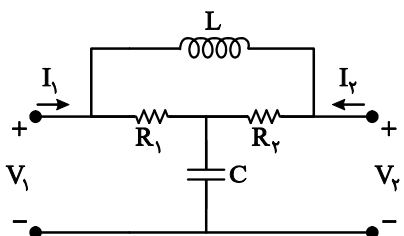


با توجه به دو حلقه‌ای بودن مدار و با انتقال آن به حوزه لاپلاس داریم:

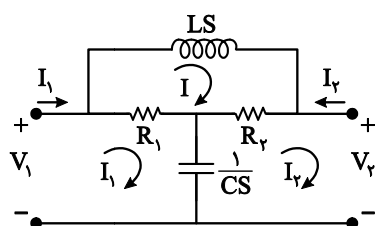


$$Z = \begin{bmatrix} L_1 s + \frac{1}{Cs} & \frac{1}{Cs} \\ \frac{1}{Cs} & L_2 s + \frac{1}{Cs} \end{bmatrix}$$

مثال ۲: در مدار شکل زیر، ماتریس امپدانس Z را پیدا کنید.



با انتقال مدار به حوزه لاپلاس و حذف جریان مش بالایی داریم:



با KVL زدن در مش بالایی، جریان I را برحسب I_1 و I_2 بیان می‌کنیم:

$$\text{KVL: } LsI + R_2(I + I_2) + R_1(I - I_1) = 0 \rightarrow I = \frac{R_1 I_1 - R_2 I_2}{Ls + R_1 + R_2}$$

$$V_1 = R_1(I_1 - I) + \frac{1}{Cs}(I_1 + I_2)$$

$$V_2 = R_2(I_2 + I) + \frac{1}{Cs}(I_1 + I_2)$$

با KVL زدن در حلقه‌های راستی و چپی داریم:

با جای‌گذاری مقدار I به دست آمده و مرتب کردن معادلات:

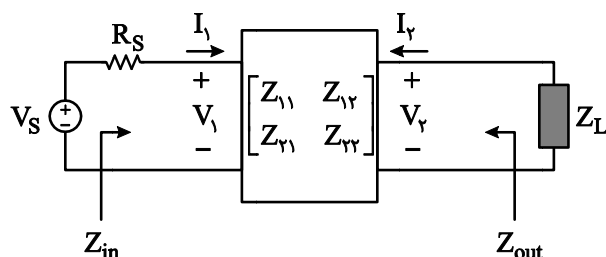
$$V_1 = \underbrace{R_1 + \frac{1}{Cs} - \frac{R_2}{Ls + R_1 + R_2}}_{Z_{11}} I_1 + \underbrace{\left(\frac{1}{Cs} + \frac{R_1 R_2}{Ls + R_1 + R_2} \right)}_{Z_{12}} I_2$$

$$V_2 = \underbrace{\left(\frac{1}{Cs} + \frac{R_1 R_2}{Ls + R_1 + R_2} \right)}_{Z_{21}} I_1 + \underbrace{\left(R_2 + \frac{1}{Cs} - \frac{R_2}{Ls + R_1 + R_2} \right)}_{Z_{22}} I_2$$

هم‌چنین برای یافتن پارامترهای Z ، مثلاً Z_{11} را می‌توان با مدار باز کردن طرف دوم و نوشتن امپدانس ورودی به دست آورد:

$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} = Z_{in1} = [(R_2 + Ls) \parallel R_1] + \frac{1}{Cs}$$

مثال ۳: در مدار شکل زیر Z_{in} و Z_{out} را بر حسب R_s ، Z_L و پارامترهای امپدانس Z به دست آورید.



برای به دست آوردن امپدانس ورودی از دو سر دوقطبی، یعنی نسبت $\frac{V_1}{I_1}$ داریم:

KVL در حلقه راستی: $V_2 = -Z_L I_2$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

بر اساس فرم ماتریسی امپدانس Z داریم:

و در نتیجه:

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 = -Z_L I_2 \rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{-Z_{21}}{Z_{22} + Z_L}$$

از طرفی:

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 = Z_{11} I_1 - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} I_1 = \left(Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \right) I_1$$

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_L}$$

پس در نهایت:

$$Z_{in} = R_s + Z_{in} = R_s + Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_L}$$

و به طریق مشابه، برای محاسبه Z_{out} نسبت $\frac{V_2}{I_2}$ را به دست می آوریم:

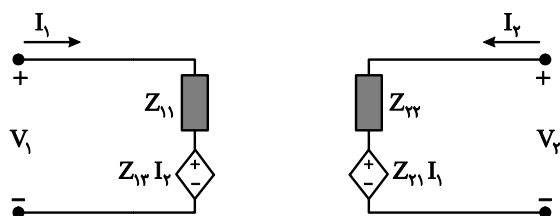
$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 = -R_s I_1 \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{-Z_{12}}{Z_{11} + R_s}$$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 = Z_{21} I_2 - \frac{Z_{21} Z_{12}}{Z_{11} + R_s} I_2 \rightarrow \frac{V_2}{I_2} = Z_{22} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{11} + R_s} \rightarrow Z_{out} = Z_{22} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{11} + R_s}$$

۱۳-۱-۱-۱ مدار معادل

مدار معادل یک شبکه دوقطبی بر حسب

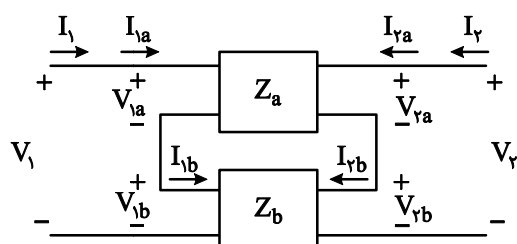
پارامترهای Z به صورت زیر است:



۱۳-۱-۲ به هم بستن دوقطبی ها

اگر دوقطبی ها با هم سری شده باشند، پارامترهای ماتریس

امپدانس Z آن ها، نظیر به نظیر با هم جمع می شوند:



در این حالت:

$$\begin{cases} I = I_a = I_b \\ V = V_a = V_b \end{cases} \rightarrow Z = Z_a + Z_b$$

قضایای شبکه

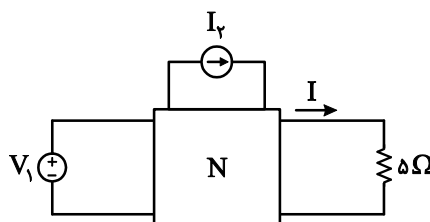
در این فصل به بررسی قضایای شبکه که در تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌پردازیم و به مدارات از دید شبکه‌ها نگاه می‌کنیم.

۱۴-۱- قضیه جمع آثار

اگر شبکه‌ای خطی و دارای پاسخ یکتا باشد، می‌توان گفت:

«پاسخ حالت صفر ناشی از اعمال هم‌زمان چند ورودی برابر است با مجموع پاسخ‌های حالت صفر ناشی از اعمال تک تک منابع». البته باید منابع از همدیگر مستقل باشند.

مثال ۱: در شکل زیر، شبکه‌ی N مقاومتی و خطی تغییرناپذیر با زمان است. اگر $V_1 = 3V$ و $I_r = 3A$ انتخاب شود، $I = 6A$ می‌شود. اگر V_1 اتصال کوتاه شود و $I_r = -2A$ باشد، مقدار $I = 2A$ است. حال اگر $V_1 = -2V$ و $I_r = 0$ مدار باز باشد، مقدار I را به‌دست آورید.



با استفاده از قضیه جمع آثار می‌توان گفت، خروجی I ترکیب خطی از ورودی‌های V_1 و I_r است. به عبارت دیگر $I = \alpha V_1 + \beta I_r$ ، پس با استفاده از اطلاعات مسأله داریم:

$$\begin{cases} V_1 = 3V \\ I_r = 3A \end{cases} \rightarrow I = 6A \rightarrow 3\alpha + 3\beta = 6$$

$$\begin{cases} V_1 = 0 \\ I_r = -2 \end{cases} \rightarrow I = 2A \rightarrow (0)\alpha + (-2)\beta = 2 \rightarrow \begin{cases} \alpha = 3 \\ \beta = -1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 = -2V \\ I_r = 0 \end{cases} \rightarrow I = 3V_1 - I_r = 3(-2) - 0 \rightarrow I = -6A$$

بنابراین برای $V_1 = -2V$ و $I_r = 0$ داریم:

برای انتقال ماکزیمم توان به مقاومت R داریم:

$$R = |z_L| = \left| \frac{3+j}{1+j} \right| = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{2}} = \sqrt{5} \rightarrow R = \sqrt{5} \Omega$$

بیش‌ترین توان مقاومت R برابر است با:

$$p_{R, \max} = \frac{1}{2} R I^2 \rightarrow \frac{1}{2} \times \sqrt{5} \times I^2 = 2\sqrt{5} \rightarrow I = 2A$$

توان حقیقی مدار که همان توان مقاومت‌هاست به صورت زیر به دست می‌آید:

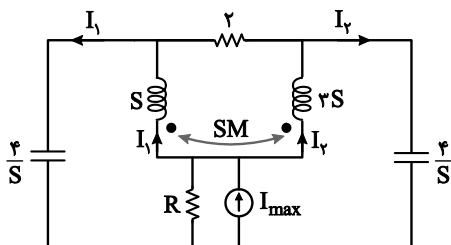
$$p_R = \frac{1}{2} R_{eq} I^2 = \frac{1}{2} (\sqrt{5} + 1) (2)^2 = 2(\sqrt{5} + 1)$$

بنابراین توان متوسط منابع، منفی توان متوسط مقاومت‌ها است؛ یعنی:

$$p_s = -p_R = -2(\sqrt{5} + 1) W$$

۸. گزینه «۲»

در حالت دائمی سینوسی و با توجه به این‌که جریان مقاومت ۲ اهمی برابر صفر است، داریم:



۳۱۳ KVL: $sI_1 + sMI_2 = 3sI_2 + sMI_1 \rightarrow (M-3)I_2 = (M-1)I_1$

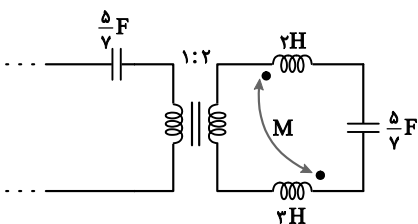
KVL: $\frac{1}{s}I_1 - \frac{4}{s}I_2 = 0 \rightarrow I_1 = 4I_2$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{M-3}{M-1} = 4 \rightarrow 4M-4 = M-3 \rightarrow 3M=1 \rightarrow M=\frac{1}{3}$$

بنابراین داریم:

۹. گزینه «۴»

این‌که ضریب توان شبکه‌ی N_1 در فرکانس $\omega=1$ برابر یک است؛ یعنی شبکه‌ی N_1 در حالت تشدید با فرکانس $\omega=1$ قرار دارد. با انتقال عناصر سمت راست ترانس ایده‌آل به طرف چپ (و حذف ترانس) داریم:



امپدانس معادل سلف‌های طرف دوم: $L_{eq_2} = 2 + 3 + 2M = 5 + 2M$

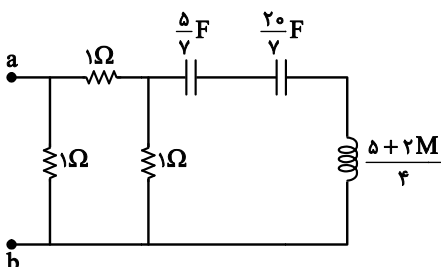
این امپدانس با نسبت $\left(\frac{n \text{ مقصد}}{n \text{ مبدا}} \right)^2 = \left(\frac{1}{2} \right)^2$ به طرف اول انتقال می‌یابد، یعنی:

$$L_{eq_1} = (5 + 2M) \times \frac{1}{4} = \frac{5 + 2M}{4}$$

خازن (ادمیتانس) $\frac{5}{V}$ نیز با نسبت $\left(\frac{n \text{ مبدا}}{n \text{ مقصد}} \right)^2 = 2^2$ به طرف اول منتقل می‌شود، یعنی:

$$\frac{5}{V} \times 4 = \frac{20}{V}$$

در نتیجه داریم:



بانک سوالات

جمع آوری سوالات کنکور کاردانی به کارشناسی
کارشناسی ارشد و دکتری به صورت فصل بندی شده

سوالات تألیفی

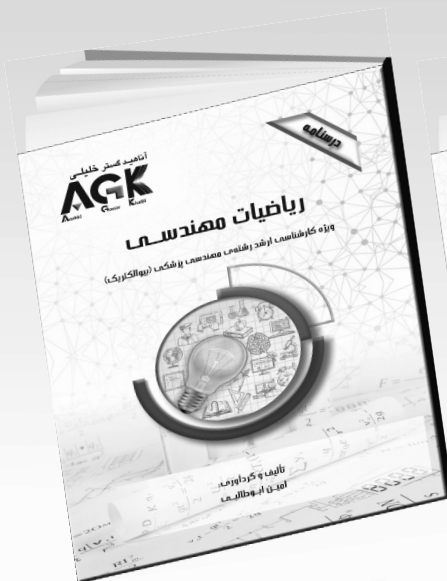
تألیف سوالات مشابه کنکور

جامع

حاوی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

الگوریتم

چکیده‌ی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع



دریافت نمونه‌ی کتاب به صورت رایگان



www.agkins.com

جامع

حاوی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

بانک سوالات

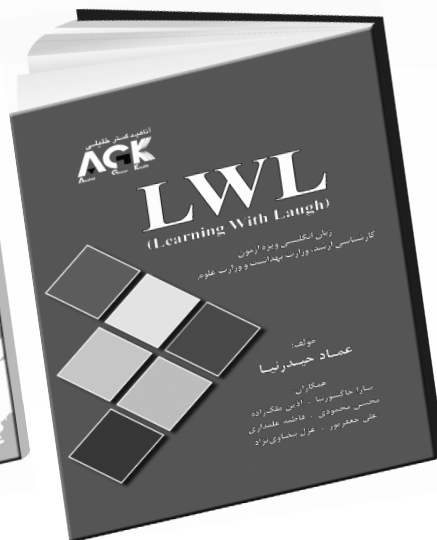
جمع آوری سوالات کنکور کاردانی به کارشناسی
کارشناسی ارشد و دکتری به صورت فصل بندی شده

الگوریتم

چکیده‌ی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

سوالات تألیفی

تألیف سوالات مشابه کنکور



دریافت نمونه‌ی کتاب به صورت رایگان



www.agkins.com

بانک سوالات

جمع آوری سوالات کنکور کاردانی به کارشناسی
کارشناسی ارشد و دکتری به صورت فصل بندی شده

سوالات تألیفی

تألیف سوالات مشابه کنکور

جامع

حاوی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع

الگوریتم

چکیده‌ی تمامی مطالب و نکات لازم
برای کنکور براساس منابع



دریافت نمونه‌ی کتاب به صورت رایگان



www.agkins.com

شماره تماس با نمایندگی‌های فعال و رسمی آناهید گستر خلیلی

شماره تماس	نمایندگی	شماره تماس	نمایندگی
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۲	شیراز (آقای فروردین/ خانم هوشمندی)	۰۹۹۱۳۷۱۳۷۵۰	اراک (آقای حسینی)
۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۲	فسا (خانم شعبانی)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۸	اردبیل (خانم عاصمی زاده)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۹	قزوین (خانم چگینی)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۱	ارومیه (آقای آرمیون)
۰۹۱۹۷۷۸۱۹۴۷	کرج (آقای دکتر علیرضاپور)	۰۹۱۹۶۳۲۱۸۵۲	اسفراین (خانم اسماعیل زاده)
۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۶	کاشان (خانم صادق پور)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۰	اصفهان (آقای نصری)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۸	کردستان (آقای ابراهیمی)	۰۹۱۹۰۹۸۰۳۱۸	ایلام (آقای دکتر بوچانی)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۸	کرمانشاه (آقای ابراهیمی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۴	اهواز (آقای امین فر)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۲	کهگیلویه (آقای فروردین/ خانم هوشمندی)	۰۹۱۹۵۹۰۷۲۰۳	بیرجند (آقای دکتر بهروان)
۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۷	گرگان (آقای شاه‌علی)	۰۹۱۹۵۷۳۰۱۴۷	تبریز (خانم عاصمی زاده)
۰۹۱۹۵۷۳۳۱۷۹	مراغه (آقای صمدی)	۰۹۰۱۳۷۳۷۸۹۶	جهرم (آقای یاعلی جهرمی)
۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۴	مشهد (خانم دکتر شجاعی)	۰۹۱۹۲۷۰۵۸۷۸	خرم‌آباد (خانم میر)
۰۹۱۹۵۷۳۳۱۷۹	میاندوآب (آقای صمدی)	۰۹۱۹۲۷۰۵۸۷۱	زنجان (خانم دکتر هوشیار)
۰۹۱۹۵۷۳۳۲۸۴	هرمزگان (آقای زارعی)	۰۹۱۹۷۷۸۱۹۴۴	ساری (آقای دکتر اکبری)
۰۹۱۹۵۷۳۰۱۵۵	همدان (آقای سوری)	۰۹۹۱۳۷۱۳۷۴۱	سمنان (آقای دکتر سلمانی)
۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۳	یزد (خانم مهندس آزاد)	۰۹۱۹۹۱۰۱۲۴۹	شهرکرد (خانم تقی پور)

بانک کتاب ناهید



«هر کتابی، از هر انتشاراتی را از ما بخواهید»

✓ جامع‌ترین بانک کتاب

✓ تحویل روزانه

✓ ارسال به تمامی نقاط کشور

✓ سفارش کتاب به صورت تلفنی و آنلاین

www.NIBS.ir



کتاب دانشگاهی، فنی و مهندسی، علوم پزشکی، علوم انسانی، عمومی،
ادبی، مذهبی، کمک آموزشی، کودک و نوجوان و کتاب نفیس

فروشگاه: تهران - خیابان انقلاب - روبه روی درب اصلی دانشگاه تهران

پاساژ فروزنده - طبقه همکف - پلاک ۳۳۱

تلفن: ۶۶۴۸۹۳۷۵ - ۰۲۱ - ۶۶۴۸۹۳۴۹ - ۰۲۱