جزوه درس اندازه‌گیری

تهیه و تنظیم:
دکتر مجتبی پیشوائی
عضو هیئت علمی دانشگاه سراسری تفرش

فصل اول:

پرسشها:

۱)کالیبراسیون یک دستگاه اندازه گیری چگونه انجام می شود؟ و عوامل مؤثر بر آن کدامند؟ توضیح دهید که آیا می توان یک دستگاه غیرخطی را کالیبره نمود؟

۲)دو مزیت دستگاه های اندازه گیری تعادلی و یک عیب آنها را بیان کنید. برای رفع این نقطه ضعف چه روشی پیشنهاد می کنید؟

مثال: یک آمپرمتر با صفحه نمایش کریستال مایع (LCD) از کدام نوع دستگاههای (رقمی، آنالوگ، تعادلی و انحرافی) است؟ توضیح دهید.

آمپرمتر با صفحه نمایشگر LCD از نوع دستگاههای رقمی است . زیرا در این نوع دستگاهها مقدار کمیت مورد نظر به صورت یک رقم روی صفحه نمایش دستگاه نشان داده می شود. در این نوع دستگاهها که ورودی غالباً یک کمیت الکتریکی از نوع آنالوگ است، وجود یک سیستم مبدلAID برای ساخت دستگاه دیجیتال ضروری است و پس از آن قرائت رقمی امکان پذیر خواهد بود.

و دستگاه از نوع رقمی و انحرافی است

مثال: حداقل دو مزیت از دستگاه های اندازه گیری دیجیتال و دو مزیت از دستگاه های اندازه گیری آنالوگ را نام ببرید و توضیح مختصری نیز بنویسید؟

مزیت های دستگاه اندازه گیری دیجیتال:

نمایش به صورت ارقام.

سرعت اندازه گیری بیشتر.

مزیت های دستگاه اندازه گیری آنالوگ:

پیوستگی محدوده اندازه گیری.

هزینه ساخت کمتر به علت تعداد طبقات کمتر

فصل دوم:

پرسشها:

۱) دو مشخصه استاتیک و دو مشخصه دینامیک سیستم های اندازه گیری را نام برده و به طور خلاصه توصیف نمائید.

۲)"زمان مرده" و "ناحیه مرده" و "خطای پویا" را تعریف کنید در یک شکل آنها را نشان دهید

۳) اثر بارگذاری آمپرمتر و ولتمتر را با رسم شکلهای ساده توضیح دهید. و بگوئید برای کاهش اثر بارگذاری هر کدام چه شرایطی باید برقرار باشد؟

۴) رابطه تطبیق امپدانس برای انتقال توان بیشینه از منبع به بار در یک مدار AC را بدست آورید؟

مفهوم فیزیکی اثر بارگذاری را بیان کنید و در مورد صحت سه گذاره زیر توضیح دهید.

الف) می توان یک ولت سنج عقربه ای بدون اثر بارگذاری ساخت؟

ب) اهم متر اساساً اثر بارگذاری ندارد؟

ج) اثر بارگذاری مهمترین عامل ایجاد خطا و دریافت نتایج غیرمنتظره در آزمایشگاه مدار و اندازه گیری است؟

حالت ایده آل در یک سیستم اندازه گیری آن است که هیچکدام از بخشهای سیستم، سیگنال اصلی را، به جز بر اساس وظیفه خود، دچار تغییر نکند اما در عمل هر بخش از سیستم اندازه گیری تا حدودی از وضعیت ایده آل فاصله گرفته و سیگنال اصلی (کمیت تحت اندازه گیری) را دستخوش اعوجاج (تغییرات ناخواسته) می نماید. از یک دیدگاه دیگر و به طریق فلسفی می توان گفت با ورود سیستم اندازه گیری به مجموعه ای که کمیت مورد اندازه گیری در آن است، مجموعه تغییر میکند و بنابراین کمیت مورد اندازه گیری که برآیند آن مجموعه است نیز به احتمال قوی تغییر خواهد کرد. این پدیده را اثر بارگذاری سیستم اندازه گیری می نامند.

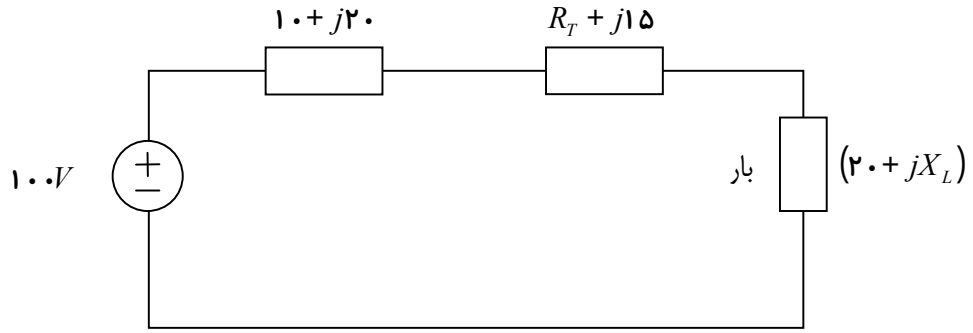
الف) خیر، در هر صورت این ولتمتر دارای مقاومت ورودی است که بر روی کمیت مورد اندازه گیری اثر می گذارد.

ب) درست می باشد. زیرا اهم متر برای اندازه گیری مقدار بار به کار می رود و بر روی بار بی اثر است.

ج) چون در آزمایشگاه مدار و اندازه‌گیری های الکترونیکی مختلف ما با اندازه گیری ولتاژ وجریان سر و کار داریم و از آنجا که دستگاههای اندازه‌گیری این دو مورد دارای اثر بارگذاری هستند بنابراین اثر بارگذاری باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری های ما می‌شود.

مثال: منبع ولتاژی با ولتاژ مدار باز $۱۰۰V$ و امپدانس خروجی $(۱۰ + j۲۰)\Omega$ از طریق یک خط انتقال دارای امپدانس $(R_T + j۱۵)\Omega$ به بار وصل شده است. برای انتقال توان بیشینه به باری با امپدانس $(۲۰ + jX_L)\Omega$ مقادیر X_L و R_T را پیدا کنید.

ب) اگر تغییر در مقاومت بار امکانپذیر باشد، مقدار تغییر برای انتقال توان بیشینه چقدر است؟ تلفات منبع و بار را در این حالت محاسبه کنید.



الف) $(۱۰ + j۲۰) + (R_T + j۱۵) = (۲۰ + jX_L)$

$R_T = ۱۰\Omega, XL = ۳۵\Omega$

ب) برای انتقال توان بیشینه باید $Z_L = (۲۰ - j۳۵)$

$$P_{\max} = \frac{E_o^۲}{۴R_o} = \frac{۱۰۰^۲}{۴ \times ۲۰} \qquad I_L = \frac{۱۰۰}{۴۰} = ۲/۵$$

اتلاف توان در بار $= ۲/۵^۲ \times ۲۰$

اتلاف توان در منبع $= ۲/۵^۲ \times ۱۰$

اتلاف توان در شبکه انتقال $= ۲/۵^۲ \times ۱۰$

[اتلاف توان در بار] = [اتلاف توان در منبع] + [اتلاف توان در شبکه انتقال]

فصل سوم:

پرسشها:

۱) با توجه به معادله دیفرانسیل کلی یک سیستم مرتبه ۲ و تابع تبدیل سیستم، پاسخهای نمونه ای این سیستم به ورودی پله را برای ضرائب میرایی متفاوت رسم کنید. در مورد اورشوت (Overshoot)، فرکانس طبیعی، فرکانس نوسانات میرائی ، ضریب میرایی در رسیدن به حالت پایدار توضیح دهید.

۲)پارامترهای مهم در پاسخ پله یک سیستم درجه۲ را با رسم شکل به طور خلاصه توصیف نمائید؟

گالوانومتر دار سونوال یک سیستم درجه دوم است. در طراحی سیستم متحرک گالوانومتر بدست آمده است که ضریب میرایی 0/65 و فرکانس طبیعی نوسان نامیرا 4Hz است.

الف) اگر با انتخاب فنری که که ضریب سختی آن کمتر است، حساسیت قسمت تحرک را دو برابر کنیم ضریب میرائی و فرکانس طبیعی چه تغییراتی خواهند داشت؟

ب) اکنون اگر ضریب میرائی را با تغییر لنگر سختی سیستم به 0/65 برگردانیم، فرکانس طبیعی چقدر خواهدشد؟

$\omega n_۱ = ۴Hz \qquad \xi = ۰/۶۵$

$\omega_n = \sqrt{K/m} \qquad \xi = \frac{D}{۲\sqrt{KM}}$

الف)

$$\frac{\omega n_۲}{\omega n_۱} = \frac{\sqrt{K/۲M}}{\sqrt{K/M}} = \frac{۱}{\sqrt{۲}} \Rightarrow \omega n_۲ = \omega n_۱ / \sqrt{۲} = ۲/۸۳Hz$$

$$\frac{\xi_۲}{\xi_۱} = \frac{D/۲\sqrt{KM}}{D/۲\sqrt{KM/۲}} = \sqrt{۲} \rightarrow \xi_۲ = \xi_۱.\sqrt{۲} = ۰/۹۲$$

ب)

$\xi_۳ = ۰/۶۵$

$$\Rightarrow \frac{\xi_۳}{\xi_۲} = \frac{۰/۶۵}{۰/۹۲} = \frac{\frac{D}{۲\sqrt{KM'}}}{\frac{D}{۲\sqrt{KM}}} = \sqrt{\frac{M}{M'}} \Rightarrow M' = ۲M$$

$$\frac{\omega n_3}{\omega n_2} = \frac{\sqrt{K/M'}}{\sqrt{K/M}} = \sqrt{\frac{M}{M'}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow \omega n_۳ = \frac{\omega n_۲}{\sqrt{۲}} \Rightarrow \omega n_۳ = ۲Hz$$

مثال: یک دستگاه اندازه گیری سیستم درجه۲ را در نظر بگیرید که به آن یک ورودی سینوسی اعمال شده است. خطای دینامیک در این سنجه تابع چه عواملی است؟ آیا امکان حذف این خطا وجود دارد؟ در صورتی که جواب منفی است. چگونه می توان به نتیجه اندازه گیری مطمئن بود؟

جواب: لختی، اصطکاک، ..... و این خطا هرگز رفع نمی‌شود و همواره مقداری خطا در نتیجه آزمایش موجود است.

مثال: در بررسی حوزه فرکانس چه نوع پاسخی از سیستم بررسی می‌شود. منحنیهای این حوزه پاسخ سیستم در چه زمانی را معین می کنند؟

آیا در اینجا بین مفهوم «دینامیک» و مفهوم «پایدار» تناقضی وجود ندارد؟ توضیح دهید.

جواب: در حوزه‌ی پاسخ ها در حالت پایدار برای فرکانس بررسی می‌شوند و در این حوزه منحنی ها بر حسب فرکانس هستند.

خیر- چون هر سیگنالی مجموعه ای از سینوسی هاست بنابراین مفهوم دینامیک را تحت پوشش خود قرار می‌دهد.

فصل چهارم:

مثال: در یک وات سنج 1000 واتی، خطای اعلام شده $\pm 1\%$ است و دستگاه برای سنجش توانی با مقدار حقیقی 100w بکار رفته است. حدود مقادیر خوانده شده توسط دستگاه در هر یک از دو حالت زیر را بدست آورید.

الف) خطای اعلام شده بر حسب انحراف تمام مقیاس است.

ب) خطای اعلام شده بر حسب مقدرا حقیقی است.

خطای حدّی نسبی در هریک از دو حالت فوق چقدر است؟

الف) وات سنج $\pm 1\%$ خوانده تمام مقیاس خطا دارد

$$\text{خطای حدّی} = \delta A = \varepsilon_r A = \varepsilon_r A_s = \pm \%1 \times 1000 = 10w$$

ب)

$$A_a = A_S \pm \delta A = ۱۰۰_W \pm ۱۰_W$$

لذا مقدار اندازه گیری شده بین حدود زیر تغیر می کند:

$$A_a = A_S(۱ \pm \varepsilon_r) = A_S \pm \delta A = (۱۰۰ \pm ۱۰)w$$

$$\text{خطای حدّی نسبی } \varepsilon r_{(100w)} = \frac{\delta A}{A_S} = \frac{10}{100} = 0/1$$

مثال:مقاومت یک مدار با اندازه‌گیری جریان و توان مدار بدست آمده است. اگر خطای حدّی در اندازه گیری جریان $\pm$۱٫۰% و در اندازه گیری توان $\pm$۱٫۵% باشد، خطای حدّی مقاومت اندازه گیری شده را بدست آورید؟

حل:

با توجه به رابطه‌ی توان: $P = R.I^{۲} \Rightarrow R = \frac{P}{I^{۲}} = PI^{-۲}$

و با توجه به معادله‌ی ضرب توانها داریم:

$$\frac{\delta R}{R} = \pm\left(۲\frac{\delta I}{I} + \frac{\delta P}{P}\right) = \pm\left(۲\times\%۱ + \%۱٫۵\right) = \%۳٫۵$$

مثال: صحت تضمین شده یک ولت سنج 15000 ولت برابر یک درصد خوانده تمام مقیاس است. ولتاژی که این ولت سنج اندازه گرفته 75 ولت است. خطای حدی را به درصد بیان کنید.

خطای حدی $= \delta A = E_r A_S = ۰/۰۱ \times ۱۵۰^{۷} = ۱/۵v$

خطای نسبی $E_r(۷۵) = \frac{\delta A}{AS} = \frac{۱/۵}{۷۵} = ۰/۰۲$

پس ولتاژ اندزاه گیری بین حدود زیر است.

$A_a = A_S(۱ \pm \varepsilon_r) = As \pm \delta A = (۷۵ \pm ۱/۵)v$

درصد خطای حدی $= ۱۰۲ \times ۱۰۰ = ۲\%$

فصل پنجم:

پرسشها:

۱) نحوه عملکرد عدسیهای کانونی کننده و ضرورت وجود آنها را در اسیلوسکوپ بیان نمائید. چرا بایستی فاصله کانونی این عدسیها متغیر باشد و این مهم چگونه انجام می شود؟

۲) یک لامپ اشعه کاتدی در واقع کدام کمیت الکتریکی را می سنجد؟ چرا؟رابطه ای بنویسید که نشان دهد سنجش کمیت فوق توسط اسکوپ، خطی است یا غیرخطی؟

۳) قسمتهای اصلی CRT و وظایف هر کدام را همراه با رسم یک شکل ساده، مختصراً توضیح دهید؟

۴) حساسیت اسکوپ چگونه تعریف می شود و عوامل مؤثر بر آنها کدامند؟

۵) بلوک دیاگرام یک اسکوپ ساده را ترسیم کنید و دلیل استفاده از بلوک تأخیری را در آن شرح دهید؟

۶) در انواع مختلف اسیلوسکوپها انحراف اشعه (پرتو) به چند روش انجام می شود؟ در هر مورد دستگاه در واقع کدام کمیت الکتریکی را می سنجد؟

(تنها انحراف اشعه در تمامی اسکوپهای به یک روش و آن هم به صورت الکتروستاتیکی است. ولی فقط در اسکوپهای دو کانال روش نمایش دو موج روی یک صفحه به دو صورت chop, ALT انجام می شود. در واقع اسکوپ یک ولت سنج می باشد.)

۷) رابطه مربوط به انحراف اشعه الکترونی در عبور از سطح هم پتانسیل الکتریکی را بدست آورید و با ترسیم نشان دهید چگونه از آندهای کانونی کننده جهت تمرکز پرتوی الکترونی بر روی صفحه فلوئورسانس در اسکوپ استفاده می شود؟

۸) چرا در ورودی اسکوپ هم طبقه تقویت کننده و هم طبقه تضعیف کننده داریم؟ مدار یک تضعیف کننده ۳ مرحله ای را رسم کنید و وظایف عناصری که بکار برده اید را توضیح دهید؟

۹) برای نمایش یک سیگنال متناوب در محدوده زمان بر روی صفحه اسکوپ علاوه بر سیگنال ورودی به چه موج دیگری نیاز داریم؟ ویژگیهای موج دوم (شکل موج، فرکانس، دامنه) چیست؟ نقش شبکه کنترل در تولید و اعمال این موج را بیان کنید؟

مثال: تقویت کننده عمودی اسکوپ دارای حساسیت $۵۰\frac{mv}{cm}$ است. تضعیف کننده را طوری طراحی کنید که ضرائب تضعیف 100 ,10 ,1 بدست آید و مقاومت ورودی اسکوپ $1M\Omega$ باشد. اگر کوچکترین خازن جبران کنند 15pf باشد، خازنهای دیگر را بدست آورید. حساسیت اسکوپ در هریک از پله های یاد شده را نیز محاسبه نمائید.

جواب:

$$R = R_A + R_B + R_C = ۱۰۰۰K\Omega$$

$$R_C = R - (R_A + R_B) = 900K\Omega \quad \text{و} \quad \frac{R_A + R_B}{R} = \frac{1}{10} \quad \text{و} \quad \frac{R_A}{R} = \frac{1}{100}$$

$$R_A = \frac{۱۰۰۰K\Omega}{۱۰۰} = ۱۰K\Omega \, , R_B = ۹۰K\Omega$$

و از آنجا که $\frac{V_o}{V_i}$ نباید به فرکانس وابسته باشد داریم:

$$R_A C_۳ = R_B C_۲ = R_C C_۱ \rightarrow \underbrace{۹۰۰\times۱۰^{۳}}_{R_C} \times \underbrace{۱۵\times۱۰^{-۱۲}}_{C_۱} = \underbrace{۹۰\times۱۰^{۳}}_{R_B} \times \underbrace{۱۵۰\times۱۰^{-۱۲}}_{C_۲} = \underbrace{۱۰\times۱۰^{۳}}_{R_A} \times \underbrace{۱۲۵۰\times۱۰^{-۱۲}}_{C_۳}$$

حساسیت ها نیز برابر خواهد بود با:

حساسیت برای ضریب تضعیف ۱ : $۵۰\frac{mv}{Cm}$

حساسیت برای ضریب تضعیف ۱۰ : $۰/۵\frac{v}{Cm}$

حساسیت برای ضریب تضعیف ۱۰۰ : $۵\frac{v}{Cm}$

در یک CRT با انحراف الکتروستاتیکی، طول صفحه های انحراف دهنده 2/5cm و فاصله بین آنها 0/5cm است. فاصله مرکز صفحه ها تا پرده نمایش 20cm است. باری که الکترون با اختلاف پتانسیل 2500v شتاب داده شده به میان صفحات منحرف کننده وارد می شود. برای اینکه پرتو به لبه صفحه انحراف دهنده بخورد چه ولتاژ انحراف دهنده لازم است و انحراف متناظر بر روی پرده چقدر خواهد بود؟ حساسیت لامپ در این حالت چقدر است؟

جواب:

با توجه به شکل (۵-۷)انحراف اشعه الکترونی در CRT وروابط مربوط به آن:

$$l_d = ۲/۵Cm, d = ۰/۵Cm, L = ۲۰Cm, E_a = ۲۵۰۰v$$

$$\begin{cases} y = \left(\dfrac{-eEy}{۲m_e V^{۲} ox}\right)x^{۲} \\ E_y = \dfrac{E_d}{d} \\ \dfrac{۱}{۲}m_e V_{ox}{}^{۲} = -eE_a \rightarrow V_{ox}{}^{۲} = -\dfrac{۲eE_a}{m_e} \end{cases} \Rightarrow y = \frac{-e\dfrac{E_d}{d}}{۲m_e(-۲eE_a/m_e)}x^{۲} \rightarrow y = \frac{Ed}{۴dE_a}x^{۲}$$

از آنجا که گفته شده باید پرتو به لبه صفحه‌ی انحراف دهنده بر خورد کند، بنابراین $y = \dfrac{d}{۲}$:

$$\frac{d}{۲} = \frac{Ed}{۴dE_a}(l_d)^{۲} \rightarrow Ed \cong ۲۰۰$$

$$D = \frac{L.L_d.E_d}{۲d.E_a} \rightarrow D = \frac{۲۰\times۱۰^{-۲}\times۲/۵\times۱۰^{-۲}\times۲۰۰}{۲\times۰/۵\times۱۰^{-۲}\times۲۵۰۰} = \frac{۱}{۲۵} = ۰/۰۴$$

حساسیت لامپ برابراست با:

$$S = \frac{D}{E_d} = \frac{۰/۰۴}{۲۰۰} = ۰/۰۰۰۲\left(\frac{m}{v}\right)$$

اگر سکتور time/Dive اسیلوسکوپ روی $۲^{s}/_{cm}$ باشد، شیب موج جاروب چقدر است؟

اگر در این حالت یک موج سینوسی با فرکانس 10 هرتز به دستگاه داده شود، یک پریود کامل از این سیگنال چند سانتیمتر را روی محور افق اشغال می کند؟

اگر طول صفحه (در راستای محور x) کلاً 10 سانتیمتر باشد چند شکل موج کامل را می توان روی صفحه دید؟

برای اینکه در کل صفحه فقط یک پریود از این سیگنال دیده شود time/Dive باید چقدر باشد؟

شیب موج جاروب در این شرایط چقدر خواهد بود؟

الف) اگر T=1S باشد طبق رابطه $x(t) = at$

شیب $= \frac{X_{\max}}{T}$

هرسیکل موج نیم سانتی مترراشغال میکند($a=\frac{1}{2}$)

$$\text{شیب} = \frac{1}{2}$$

ب) چون هر سیکل موج $\frac{1}{2}$ سانتیمتر را اشغال می کند لذا در فرکانس 10 هرتز T=0/1 می باشد. را اشغال می کند

$$x(a) = a.t \rightarrow 0/1 \times \frac{1}{2} = 0/05cm$$

ج) چون 10 پریود در 0/5 سانتیمتر رخ می دهد لذا 20 پریود در یک سانتیمتر نمایش داده می شود و در 10 سانتیمتر: $10 \times 20 = 200$ شکل موج دیده می شود.

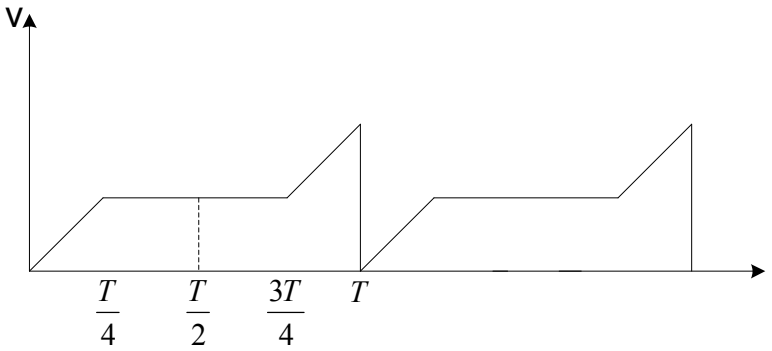
د) برای اینکه یک سیکل کامل در یک صفحه دیده شود باید a یا همان time/Dive به مقدار $0/1^{cm}/_{s}$ باشد.

ه) شیب موج جاروب 0/1 می باشد.

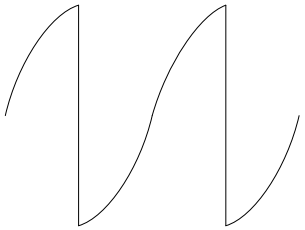
فرض کنید در یک اسکوپ موج مولّد دندانه اره ای دچار اشکال شده و شکل موج زیر را تولید می کند حال اگر به صفحات عمودی سیگنالهای (الف و ب) اعمال شود پاسخ روی CRT را رسم کنید.

الف) موج سینوسی با پریود T

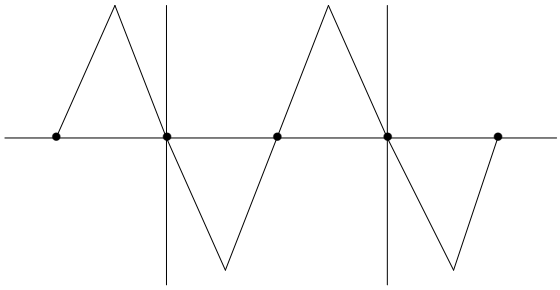
ب) موج مثلثی با پریود $T/2$



الف)



ب)

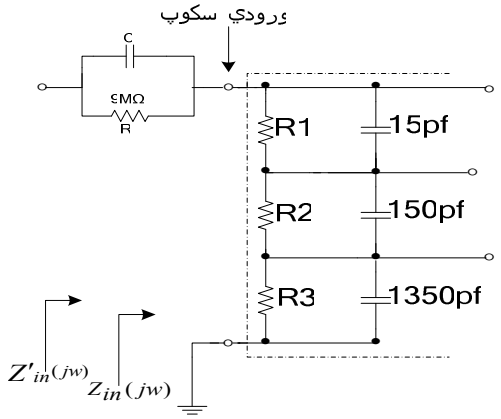


مثال: تضعیف کننده ورودی یک اسیلوسکوپ متشکل است از مقاومت های R_1, R_2, R_3 و خازنهای جبران کننده C_1, C_2, C_3 مطابق شکل تشکیل شده است.

a) امپدانس ورودی $Z_{in}(jw)$ را محاسبه کنید.

b) پروب «دَه- به یک» متشکل از مقاومت $R = 9M\Omega$ و خازن متغیر و قابل تنظیم C را به ورودی اسکوپ وصل می کنیم.

مقدار خازن C را چنان تعیین کنید که تابع تبدیل ولتاژ یا تضعیف ولتاژ از ورودی کاوه به ورودی اسکوپ جبران سازی شود، (یعنی به فرکانس وابسته نباشد) و سپس امپدانس ورودی $Z'_{in}(jw)$ را حساب کنید و به شکلی ساده بنویسید.



الف)

مقادیر R1,R2,R3 در مثال های قبلی محاسبه شده است و برابر است با:

R1=900k , R2=90k , R3=10k

$$X_c = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_{in}(j\omega) = (R_1 \parallel X_{c1}) + (R_2 \parallel X_{c2}) + (R_3 \parallel X_{c3}) = \frac{R_1 \times \frac{1}{j\omega c_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega c_1}} + \frac{R_2 \times \frac{1}{j\omega c_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega c_2}} + \frac{R_3 \times \frac{1}{j\omega c_3}}{R_3 + \frac{1}{j\omega c_3}} \rightarrow$$

$$= \frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} + \frac{R_3}{1 + j\omega R_3 C_3}$$

از آنجا که $R_1C_1 = R_2C_2 = R_3C_3 = 1/35 \times 10^{-5}$ بنابراین:

$$Z_{in}(j\omega) = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}} = \frac{900 \times 10^3 + 90 \times 10^3 + 10 \times 10^3}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}} = \frac{1000 \times 10^3}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}}$$

وقتی پروب به ورودی اسکوپ وصل شود تابع تبدیل برابر خواهد بود با:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_{in}(j\omega)}{Z_{in}(j\omega) + \frac{R}{1 + j\omega RC}}$$

برای جبرانسازی باید داشته باشیم:

$$RC = R_1C_1 = R_2C_2 = R_3C_3 = 1/35 \times 10^{-5}$$

بنابراین:

$$RC = 1/35 \times 10^{-5} \rightarrow C = \frac{1/35 \times 10^{-5}}{9 \times 10^{6}} = 1/5\,pf$$

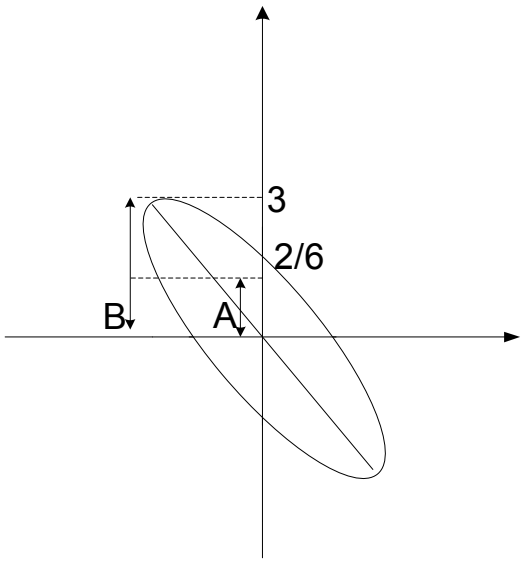
و حال امپدانس ورودی برابر خواهد بود با:

$$Z'_{in}(j\omega) = Z_{in}(j\omega) + \frac{R}{1 + j\omega RC} = \frac{1000 \times 10^{3}}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}} + \frac{9 \times 10^{6}}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}} = \frac{10 \times 10^{6}}{1 + j\omega 1/35 \times 10^{-5}}$$

مثال :ولتاژ E_1 به ورودی افقی ولتاژ E_2 به ورودی عمودی یک اسکوپ وصل شده است، هر دو ولتاژ سینوسی و هم فرکانس هستند و روی پرده یک بیضی دیده می شود که شیب محور بزرگتر آن منفی است. مقدار ماکزیمم قائم 3 و محل برخورد بیضی با محور قائم 2/6 است. اختلاف فازهای ممکن بین E_1, E_2 را بنویسید. در فن بیضی حول محورهای قائم و افقی متقارن است.

E_1 به ورودی افقی

E_2 به ورودی عمودی



$$\theta = Sin^{-1}\frac{A}{B} = Sin^{-1}\frac{2/6}{3}$$

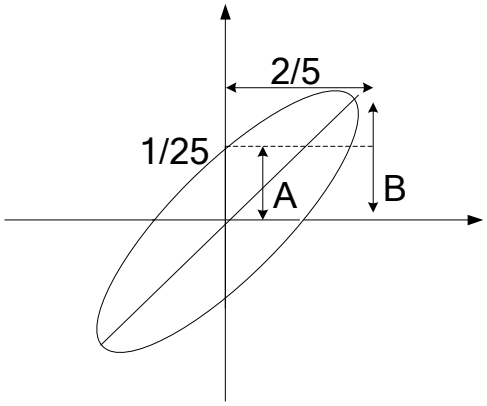
$$\theta = 60^0 \quad \text{یا} \quad \theta = 240$$

اگر قطر در ربع دوم و چهارم باشد اختلاف فاز از 90 درجه تا 180 درجه و یا از 180^0 تا 270^0 خواهد بود

مثال:ولتاژ E_1 به وردی واقعی و ولتاژ E_2 به ورودی قائم یک اسکوپ اعمال می شود. فرکانسی دو ولتاژ برابر و شکل حاصل یک بیضی است. شیب قطر اصلی مثبت و مقدار ماکزیمم قائم2/5 درجه تقسیم و محل تقاطع بیضی با محور قائم 1/25 درجه تقسیم است و بیضی حول محورهای مختصات متقارن می باشد. اختلاف فاز ممکن بین چقدر است؟

ولتاژE_1 به افقی

ولتاژ E_2 به عمودی



$$\theta = Sin^{-1}\frac{A}{B} \quad \rightarrow \quad Sin^{-1}\frac{1/25}{2/5}$$

$$\begin{cases} \theta = o\,to\,30° \\ OR \\ \theta = 270°\,to\,360° \end{cases}$$ روی قطر اصلی

$$\begin{cases} \theta = 30° \\ OR \\ \theta = 210° \end{cases}$$

فصل ششم:

پرسشها:

۱- لزوم و وظایف نیروی کنترل کننده (مقاوم) در یک دستگاه اندازه گیری آنالوگ را بیان نمائید؟

۲- نیروهای عامل در یک دستگاه اندازه گیری آنالوگ را نام ببرید. برای سیستم ایجاد کننده هریک از این نیروها حداقل یک نمونه بیاورید؟

۳- نیروهای عامل در یک دستگاه اندازه گیری الکتریکی آنالوگ را نام ببرید. هر کدام از این نیروها چه ویژگیهایی دارند؟ استفاده از نیروی بازگرداننده وزنی در این دستگاه ها چگونه است و چه مزایا و معایبی دارد؟

۴- ویژگیهای مهم انتقال توان در سیستم سه فازه در مقایسه با سیستم تکفازه چیست؟ رابطه توان در یک مدار سه فازه که به صورت مثلث بسته شده است را بنویسید؟

۴- مثال:یک دستگاه متوسط سنج، یک دستگاه موثرسنج، یک دستگاه حاصلضرب سنج و یک دستگاه نسبت سنج همگی آنالوگ نام ببرید. طرز کار هریک از به طور خلاصه بیان کنید و بگوئید کاربرد اصلی آن چیست؟

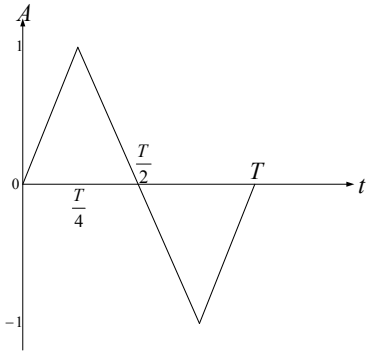
ولتمتر dc یک دستگاه متوسط سنج می باشد که این دستگاه به طور موازی قرار می گیرد.

ولتمتر ac یک دستگاه موثر سنج می باشد که این دستگاه به طور موازی برای اندازه گیری ولتاژ قررا می گیرد.

کنتور برق منازل یک دستگاه حاصلضرب سنج می‌باشد. و برای اندازه‌گیری انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اهم متر یک نسبت سنج است و برای اندازه گیری مقدار مقاومت به کار می رود و مقاومت مجهول در دو سر آن قرار می گیرد.

مثال:مقدار موثر، مقدار متوسط و ضریب شکل موج سیگنال مثلثی شکل زیر را بدست آورید.
اگر این سیگنال به یک ولتمتر که براساس شکل موج سینوسی یکسو شده کار می کند، داده شود.
خطای اندازه گیری چقدر خواهد بود؟



حل:

(1/15) ضریب شکل موج مثلثی

1/11 = ضریب موج سینوسی

مقدار موثر = ضریب شکل موج × مقدار متوسط

میزان خطا تابعی از اختلاف ضریب شکل موج بین موج مورد نظر با موج سینوسی است.

$$y_{av} = \frac{1}{T}\left(\int_{0}^{T/4} \frac{4}{T}dt + \int_{t/4}^{t/2} -\frac{4}{T}dt + \int_{t/2}^{3t/4} -\frac{4}{T}dt + \int_{3\frac{t}{4}}^{T} \frac{4}{T}dt \right)$$

آزمون سوم:

تمرین های فصل هفتم

پرسشها:

۱- الف) چرا نمی توان کمیت های ac را مستقیماً با دستگاه قاب گردان سنجید؟

ب) برای سنجش یک ولتاژ سینوسی با دستگاه قاب گردان چه راه حلهایی وجود دارد؟ حداقل ۲ راه را بنویسید

ج) مدار لازم برای یکی از راه حلهای گفته شده در قسمت (ب) ر ا رسم و شکل موج های مربوطه را ترسیم نمائید؟

د) اگر دستگاه برای سنجش dc کالیبره شده باشد، خطایی که در سنجش ولتاژ سینوسی با روش ارائه شده در قسمت (ج) پیش می آید چقدر است؟

۱) یک گالوانومتربامقاومت ۱۰۰۰Ωوجریان ماکزیمم $۱۰۰\mu A$دراختیارداریم،ضمن محاسبه مقاومتهای لازم، شکل مداررادردوحالت زیررسم کنید.

الف) ساخت یک آمپرسنج چندمقداره باشنت عام، برای مقادیر $۱۰mA$، $۱۰۰mA$، $۱A$.

ب) ساخت یک ولت سنج باسطوح ولتاژ $۲/۵v$، $۱۰v$، $۵۰v$، $۲۵۰v$ (مقاومتهاسری هستند).

حل الف)

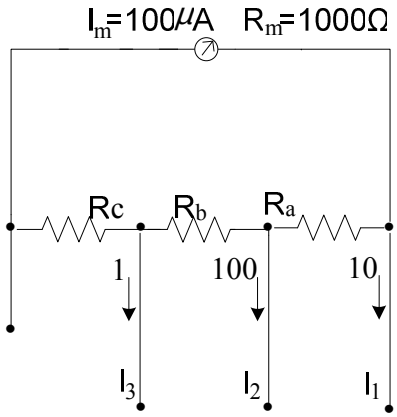
$$Rc = \frac{\text{Im}}{I_۳ - I_m}(Rm + Ra + Rb) \rightarrow Rb + Rc = \frac{I_m}{I_۲ - I_m}(Rm + Ra) \rightarrow$$

$$Ra + Rb + Rc = \frac{I_m}{I_۱ - I_m} Rm$$

$$V_m = R_m . I_m = ۱۰۰۰ \times ۱۰۰ \times ۱۰^{-۶} = ۱۰۰۰۰۰ \times ۱۰^{-۶} = ۰/۱ \vartheta$$

$$Ra + Rb + Rc = \frac{۰/۱}{۱۰۰۰۰ - ۱۰۰} = ۱۰/۱\Omega$$

$$Rb + Rc \simeq \frac{۰/۱ + ۰/۰۰۱۰۱}{۰/۱} = ۱/۰۱۰۱\Omega \rightarrow Rc = \frac{۰/۱۰۱۰۱}{۹۹۹۹۰۰} \simeq ۱۰۱ \times ۱۰^{-۹}\Omega$$

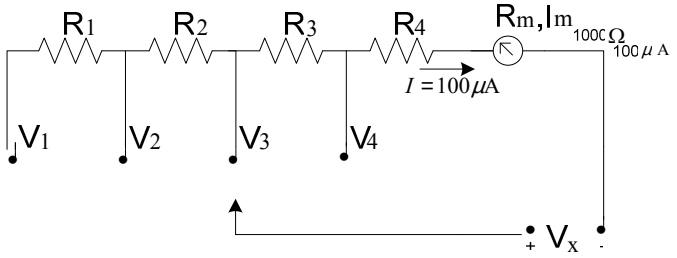


ب)

$$V_۴ = ۲/۵_V \ , V_۳ = ۱۰_V \ , V_۲ = ۵۰_V \ , V_۱ = ۲۵۰_V$$

$$R_۴ = \frac{۲/۵_V - ۰/۱_V}{۱۰۰ \times ۱۰^{-۶}} = ۲۴K\Omega \rightarrow R_۳ = \frac{۱۰ - ۲/۵}{۱۰۰\mu A} = ۷۵K\Omega$$

$$R_۲ = \frac{۵۰ - (۷/۵ + ۲/۴ + ۰/۱)}{۱۰۰\mu A} = ۴۰۰K\Omega \rightarrow R_۱ = \frac{۲۵۰ - ۵۰}{۱۰۰\mu A} = ۲M\Omega$$

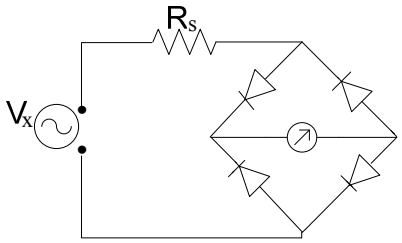


۲) یک ولتمتر آزمایشگاهی با پل یکسو کننده و دستگاه قاب گردان با $I_m = ۱mA, R_m = ۲۵۰\Omega$ داریم. هر دیود در جهت هدایت مقاومت 50Ω و در جهت معکوس مقاومت ∞ دارد.

الف) مقاومت سری لازم برای اینکه دستگاه بتواند ولتاژ سینوسی با مقدار موثر 25 ولت را اندازه گیری کند چقدر است؟

ب) حساسیت ولتمتر (بدون یکسو کننده) و ولتمتر ac با در نظر گرفتن مقاومت سری بدست آمده در قسمت (a) چقدر است. (راهنمایی: حساسیت ولتمتر بر حسب Ω/v بیان می شود)

ج) اگر یک مقاومت $250^{\Omega}{}_{Rsh}$ موازی با پیچک دستگاه نصب شود، مقدار جدید R_S برای انحراف تمام مقیاس با ورودی سینوسی با مقدار مؤثر 25 ولت چقدر خواهد بود؟



الف) چون در هر نیم سیکل ۲ دیود هدایت می کند لذا:

$$\frac{\text{مقدار موثر موج اصلی}}{\text{مقدار متوسط موج یکسو شده}} = \text{ضریب شکل} \quad \text{مقدار متوسط یکسو شده موج سینوسی}$$

$$\rightarrow ۱/۱۱ = \frac{۲۵}{x} \rightarrow x = \frac{۲۵}{۱/۱۱} = ۲۲/۵۲v$$

$$R_S = \frac{۲۲/۵۲}{۱mA} - ۲۰۰ = ۲۲/۳۲K\Omega$$

ب)

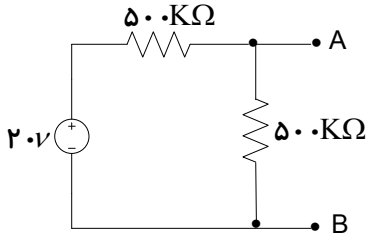
$$S_{dc} = \frac{۱}{\mathrm{Im}_{\max}} = \frac{۱}{۱_{mA}} = ۱۰۰۰\Omega/\vartheta$$

$$S_{dc} = \frac{۱}{\mathrm{Im}_{\max}} = \frac{۱}{۱/۱۱} = ۹۰۰/۹\Omega/\vartheta$$

ج)

$$R_S = \frac{۲۲/۵۲}{۱mA} - ۱۷۱/۴۲ = ۲۲/۳۴۸K\Omega$$

۳) مقدار ولتاژ حقیقی بین سرهای مقاومت 500 کیلو اهمی مطابق شکل زیر که بین سرهای A,B بسته شده چقدر است؟ ولت سنجی با حساسیت $۲۰K\Omega/v$ بر روی گستره های50 ,15 ولت چه خواهد خواند؟



حساسیت ولت سنج : $S = \frac{۱}{I_m}\Omega/v$

ولتاژ دو سر A,B:

$$۲۰\times\frac{۵۰۰}{۵۰۰+۵۰۰}=۱۰v$$

$$R_v = S\times V \rightarrow R_v = ۲۰۰۰۰\times۵۰ = ۱M\Omega$$

$$v_۱ = ۲۰\times\frac{۵۰۰K\Omega \,||\, ۱M\Omega}{۵۰۰K\Omega + (۵۰۰K\Omega \,||\, ۱M\Omega)} = ۲۰\times\frac{۳۳۳/۳۳K\Omega}{۸۳۳/۳۳K\Omega} = ۸v$$

$$R_v = ۲۰۰۰۰\times۱۵ = ۳۰۰K\Omega$$

$$v_۲ = ۲۰\times\frac{۵۰۰K\Omega \,||\, ۳۰۰K\Omega}{۵۰۰K\Omega + (۵۰۰K\Omega \,||\, ۳۰۰K\Omega)} = ۲۰\times\frac{۱۸۷/۵K\Omega}{۶۸۷/۵K\Omega} = ۵/۴۵v$$

خطای ولتمتر اول $= \frac{۸-۱۰}{۱۰}\times۱۰۰ = -۲۰\%$

خطای ولتمتر دوم $= \frac{۵/۴۵-۱۰}{۱۰}\times۱۰۰ = -۴۵/۵\%$

۴) ولت سنجی با حساسیت $۱۰۰۰\frac{\Omega}{\vartheta}$ برروی مقیاس۱۵۰ولتی خود، $۱۰۰v$ رامی خواند.این ولت سنج به دوسرمقاومت مجهولی بسته شده است وبایک میلی آمپرسنج متوالی است.اگرخوانده میلی آمپرسنج، $5mA$باشد.

الف)مقدارظاهری مقاومت مجهول چقدراست؟

ب)مقدارحقیقی مقاومت مجهول چقدراست؟

ج)خطای ناشی ازاثربارگذاری ولت سنج چقدراست؟

الف)مقاومت کل مداربرابر است با: $R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{۱۰۰}{۵\times۱۰^{-۳}} = ۲۰\times۱۰^{۳}\Omega = ۲۰K\Omega$

که همان مقدارمقاومت مجهول است.دررابطه بالا I_T, E_T به ترتیب ولتاژوجریان خوانده شده هستند.

ب)مقاومت ولت سنج برابراست با:

$$R_V = S\times V = ۱۰۰۰\times۱۵۰ = ۱۵۰\times۱۰^{۳}\Omega = ۱۵۰K\Omega$$

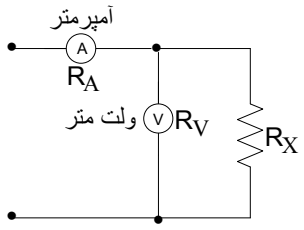
چون مقاومت مجهول R_X باولت سنج موازی است داریم:

$$R_T = \frac{R_X R_V}{R_X + R_V}$$

پس مقاومت مجهول برابر است با:

$$R_X = \frac{R_T R_V}{R_V - R_T} = \frac{۲۰\times۱۵۰}{۱۵۰-۲۰} = ۲۳/۰۷۷K\Omega$$

$$\text{خطا به درصد} = \frac{۲۰-۳۳/۰۷۷}{۲۳/۰۷۷}\times۱۰۰ = -۱۳/۳۳\%$$



تمرینهای فصل هشتم

پرسشها:

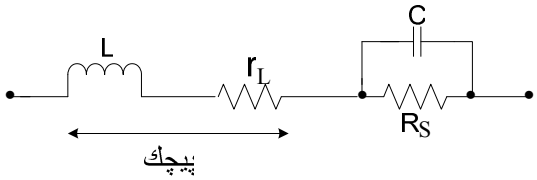
۱) الف) اساس کار دستگاه آهن گردان را شرح دهید و دو نوع این دستگاهها را نام ببرید.

ب) با توجه به اینکه معادله انحراف دستگاه $\theta = \frac{۱}{۲}\frac{I^۲}{K}\frac{dL}{d\theta}$ است. این دستگاه را برای اندازه گیری چه کمیتی و از چه نوعی (dcیاac) مناسب می دانید؟

ج) مشکل اصلی دستگاه اگر در اندازه گیری مورد نظر شما بکار رود چیست و چگونه باید آن را رفع نمود؟

۲) خطاهای منحصر به ac (خطاهای فرکانس) در دستگاه آهن نرم (آهن گردان) را نام ببرید و مختصراً توضیح دهید.

۱) فرض کنید یک دستگاه آهن گردان که در فرکانس 50 هرتز تنظیم شده $R_m = ۵۰۰\Omega$ و $L_m = ۰/۸H$ است در اختیار داریم و این دستگاه به عنوان ولت سنج هنگام سنجش 300 ولت ac ، جریان 100mA می کشد. حال اگر یک ولتاژ DC با دامنه به 300_V دستگاه اعمال شود خطای قرائت دستگاه چقدر خواهد بود؟ (میزان انحراف عقربه را متناسب با میزان جریان عبوری از سنجه در نظر بگیرید).



$$X_L = ۲\pi f.L = ۲\pi \times ۵۰ \times ۰/۸ = ۲۵۱/۲\Omega$$

امپدانس کل:
$$Z_{۵۰} = \frac{۳۰۰}{۰/۱} = ۳۰۰۰\Omega$$

$$I_{m_{\max}} = ۰/۱A$$

$$R_S = \sqrt{Z^۲ - X_L^۲} = \sqrt{(۳۰۰۰)^۲ - (۲۵۱/۲)^۲} = ۲۹۸۹\Omega$$

$$I_{\text{mac}} = \frac{۳۰۰}{۳۰۰۰} = \frac{۱}{۱۰}\text{A}$$

$$I_{\text{mdc}} = \frac{۳۰۰}{۲۹۸۹} = ۰/۱۰۰۳۴$$

از آنجا که انحراف دستگاه با $I^۲$ متناسب است:

$$\theta = KI^۲ \frac{dl}{d\theta}$$

$$۳۰۰vdc \text{ قرائت دستگاه در } = \frac{(I_{mdc})^۲}{(I_{mac})^۲} \times ۳۰۰ = \frac{(۰/۱۰۰۳۴)^۲}{\left(\frac{۱}{۱۰}\right)^۲} \times ۳۰۰ = ۳۰۲/۰۴$$

$$\text{خطای قرائت:} \frac{۳۰۲/۰۴ - ۳۰۰}{۳۰۰} \times ۱۰۰ = ۰/۶۸\%$$

۲) یک دستگاه آهن نرم با مقاومت پیچک ۵۰۰Ω و ضریب القای $۱H$ مفروض است. R_S برابر ۲۰۰۰Ω است و دستگاه برای سنجش $۲۵۰vdc$ کالیبره شده است. قرائت دستگاه هنگام سنجش یک ولتاژ ac با دامنه $۲۵۰\sqrt{۲}$ و فرکانس $۵۰Hz$ چقدر است؟

$$X_L = ۲\pi fL = ۲\pi \times ۵۰ \times ۱ = ۳۱۴/۱۵\Omega$$

امپدانس مدار $۵۰Hz$:

$$Z_{۵۰hx} = \sqrt{X_S^۲ + X_L^۲} = \sqrt{(۲۰۰۰)^۲ + (۳/۱۴/۱۵)^۲} \cong ۲۰۲۵\Omega$$

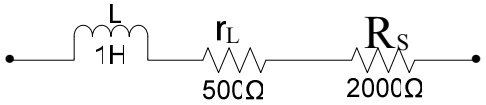
$$Im_{dc} = \frac{۲۵۰\sqrt{۲}}{۲۰۰۰} = ۰/۱۷۶A$$

$$Im_{ac} = \frac{۲۵۰\sqrt{۲}}{۲۰۲۵} = ۰/۱۷۴A$$

$$\theta = KI^۲ \frac{dl}{d\theta}$$

$$\text{قرائت در } ۲۵۰\sqrt{۲} = \frac{(I_{mdc})^۲}{(I_{mac})^۲} \times ۲۵۰\sqrt{۲} = \frac{۰/۰۳۰۹۷۶}{۰/۰۳۰۲۷۶} \times ۲۵۰\sqrt{۲} = ۳۶۱/۷۲v$$

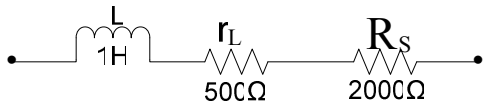
$$\text{خطا} = \frac{۳۶۱/۷۲ - ۳۵۳/۵۵}{۳۵۳/۵۵} \times ۱۰۰ = ۲/۳\%$$



۳) الف) فرض کنید پیچک یک ولت سنج آهن نرم دارای مقاومت ۵۰۰Ω و ضریب القای $۱/۰H$ و R_S برابر ۲۰۰۰Ω است و دستگاه برای سنجش 250^{v} (dc) کالیبره شده است. قرائت دستگاه هنگام سنجش یک ولتاژ ac با دامنه $۲۵۰\sqrt{۲}$ و فرکانس $۵۰Hz$ چقدر است؟

ب) برای اصلاح این خطا چه عنصری را باید با R_S موازی کرد؟ مقدار آن را محاسبه کنید. با اضافه کردن این عنصر با محاسبه بررسی کنید که آیا خطای قرائت در فرکانس $۱۰۰hz$ نیز جبران شده است؟

حل الف)



$$X_L = ۲\pi ۵۰ \times ۱ = ۳۱۴/۱۵\Omega$$

$$Z_{۵۰\text{hz}} = \sqrt{X_S^۲ + X_L^۲} = \sqrt{(۲۰۰۰)^۲ + (۳/۱۴/۱۵)^۲} \cong ۲۰۲۵\Omega$$

$$I\text{m}_{\text{dc}} = \frac{۲۵۰\sqrt{۲}}{۲۰۰۰} = ۰/۱۷۶A$$

$$I\text{m}_{\text{ac}} = \frac{۲۵۰\sqrt{۲}}{۲۰۲۵} = ۰/۱۷۴A$$

$$\theta = KI^۲ \frac{dl}{d\theta}$$

$$\text{قرائت در } ۲۵۰\sqrt{۲} = \frac{(I_{mdc})^۲}{(I_{mac})^۲} \times ۲۵۰\sqrt{۲} = ۳۶۱/۷۲v$$

$$\text{خطا} = \frac{۳۶۱/۷۲ - ۳۵۳/۵۵}{۳۵۳/۵۵} \times ۱۰۰ = ۲/۳\%$$

حل ب) باید یک خازن را با R_S موازی نمود.

$$C = \frac{L}{R_S^۲} = \frac{۱}{(۲۰۰۰)^۲} = ۲۵۰nF$$

چون Z در همه فرکانسها باید با R_S باشد لذا:

$$L - CR_S^۲ = o \rightarrow ۱ - ۲۵۰ \times ۱۰^{-۹} \times ۴ \times ۱۰^{۶} = o$$

پس خطا در $۱۰۰hz$ جبران شده است.

فصل نهم:

ص۵۷-به بخش۹-۱۱)بعدازمثال۹-۳)اضافه شود::

در یک وات سنج الکترودینامیکی مقاومت پیچک جریان ۰/۰۱Ω و مقاومت پیچک ولتاژ ۵۰۰۰Ω است و دستگاه برای سنجش یک بار ولتاژ 220 ولت، جریان 20A و ضریب توان 0/7 پسفاز بکار رفته است.

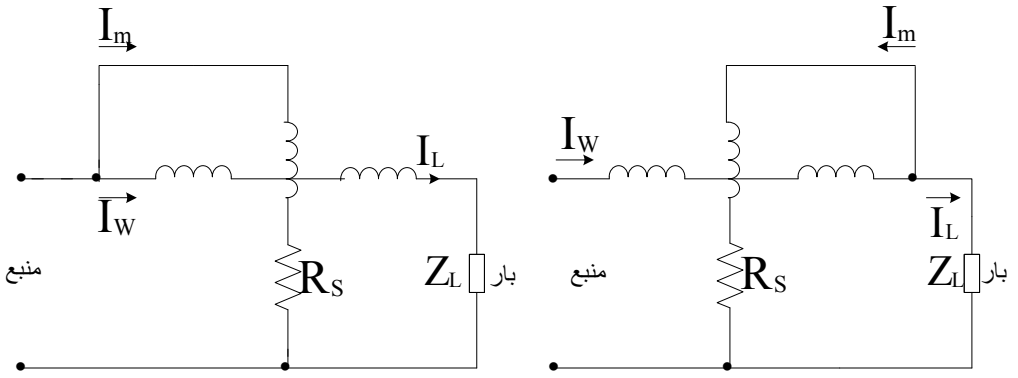
الف) مدار اتصال وات سنج به بار را در دو حالت مختلف رسم کنید.

ب) توان مصرفی واقعی بار را محاسبه کنید.

ج) خطای قرائت وات سنج را در هریک از دو حالت اتصال محاسبه کنید و به صورت درصد نسبت به مقدار واقعی بنویسید.

د) در چه جریانی خطای دو روش اتصال یکسان خواهد شد؟ (ولتاژ بار را همان 220 ولت در نظر بگیرید)

الف)



A)بارسبک Z_L بزرگ B)بارسنگین Z_L کوچک

ب) توان مصرفی بار = $۲۲۰\times۲۰\times۰/۷ = ۳۰۸۰W$

ج) $P_C = I^۲R_C = (۲۰)^۲ \times ۰/۰۱ = ۴W$

خطا= $\frac{۴}{۳۰۸۰}\times۱۰۰ \Rightarrow \cong ۰/۱۲۹\%$

$P_\vartheta = \frac{\vartheta^۲}{R_\vartheta} = \frac{(۲۲۰)^۲}{۵۰۰۰} = ۹/۶۸W$

خطا= $\frac{۹/۶۸}{۳۰۸۰}\times۱۰۰ = ۰/۳۱\%$

د) $I^۲R_C = \frac{V_۲}{R_\vartheta} \Rightarrow I^۲ = \frac{(۲۲۰)^۲}{۵۰۰۰\times۰/۰۱} \Rightarrow ۳۱/۱۱ = I$

ص۱۱۱-به بخش۹-۱۱)بعدازمثال۹-۳)اضافه شود:

در یک وات سنج الکترودینامیکی مقاومت پیچک جریان $0/05\Omega$ و مقاومت پیچک ولتاژ 500Ωیا 300Ω است. با این ولت سنج یکبار با ولتاژ 220v، ضریب توان 0.6 و جریان 20_A سنجیده شده است.

الف) مدار وات سنج به همراه بار را در دو حالت مقاومت اتصال وات سنج (حالت بار سبک و حالت بار سنگین) رسم نمائید.

ب) درصد خطای سنجش را در هریک از دو اتصال فوق محاسبه نمائید.

ج) به ازای چه جریانی از بار خطای دو نوع اتصال، یکسان خواهد بود؟

د) توضیح دهید که چرا یکی از این دو اتصال برای بارهای سبک (Z_L بزرگ) و دیگر برای بارهای سنگین (Z_Lکوچک) مناسب است.

راهنمایی: $(\theta = KI_L V_L Cos\varphi)$

الف)

ب)W۲۶۴۰= ۰,۶ ×۲۰ ×۲۲۰= توان مصرفی بار

$$P_C = I^2 R_C = (20)^2 \times 0/05 = 20W$$

$$\text{خطا} = \frac{20}{2640} \times 100 = 0/75$$

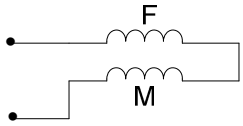
$$P_\vartheta = \frac{\vartheta^2}{R_\vartheta} = \frac{(220)^2}{500} = 96/8W$$

$$\text{خطا} = \frac{96/8}{2640} \times 100 = 3/6\%$$

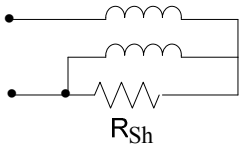
$$I^2 R_C = \frac{V_2}{R_\vartheta} \Rightarrow I^2 = \frac{(220)^2}{500 \times 0/03} \Rightarrow 57/89 = I$$

ص۹۵-قبل از بخش۹-۸)اضافه شود:

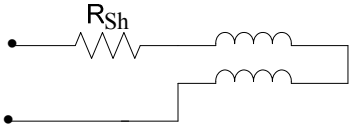
الکترودینامتری با $R_m = ۵۰\Omega, R_F = I\Omega$ مفروض است. هنگامی که از این دستگاه به عنوان یک آمپرسنج بدون شنت استفاده می شود با جریان dc برابر با 0/1 آمپر انحراف کامل می رسد.



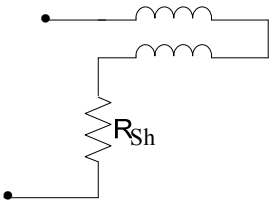
الف) با قرار دادن یک مقاومت R_{sh} به موازات پیچک متحرک آمپرسنجی با محدوده 0-10A می سازیم. R_{sh} را محاسبه کنید.



ب) R_S را برای تبدیل یک دستگاه به ولت سنج با محدوده 0-1000V محاسبه کنید.

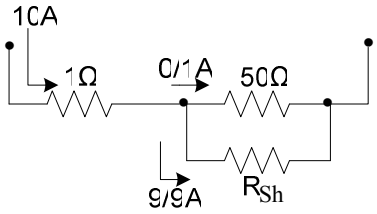


ج) با قرار دادن مقاومت R سری با پیچک متحرک وات سنجی با محدوده 0-300W می سازیم R را در این حالت را نیز محاسبه کنید. $(\theta = KI_۱I_۲\frac{d\mu}{d\theta})$

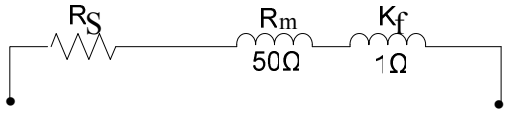


الف)

$$R_{sh} = \frac{۵\vartheta}{۹/۹A} = ۰/۵۰۵\Omega$$



ب)



$$R_{sh} \times ۰/۱ + ۵۱ \times ۰/۱ = ۱۰۰۰$$

$$R_S = \frac{۱۰۰۰ - ۵/۱}{۰/۱} = ۹۹۴۹\Omega$$

ج)

فصل دهم:

ص ۸۷ گالوا و استاتیک:

الف) چهار تفاوت اصلی بین دستگاه گالوانومتر قاب گردان و دستگاه الکتروستاتیکی را بیان نمائید. (میران، مدار معادل دستگاه، کمیت مورد سنجش، کاربرد ac, dc)

ب) فرض کنید یک موج مربعی با دامنه 1v و فرکانس $50hz$ را یکبار توسط یک ولتمتر قاب گردان مجهز به یکسو کننده تمام موج و بار دیگر توسط یک ولتمتر الکتروستاتیکی اندازه گیری کرده ایم. خطای اندازه گیری در این دو حالت را مقایسه کنید. $\left(\theta = \frac{1}{2}\frac{V^2}{K}\frac{dc}{d\theta}\right)$

(توجه: ضریب شکل موج، موج مربعی یکسو شده برابر 1 و برای موج سینوسی یکسو شده برابر 1/11 است)

الف)

الکتروستاتیکی:

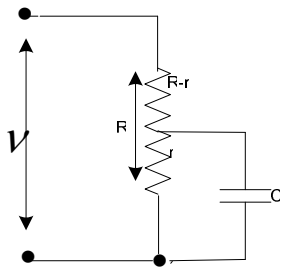
گشتاور انحراف دهنده ناشی از نیروهای کولنی است.

دستگاه اساساً ولت سنج می باشد.

مدار معادل دستگاه

در ac و θ با مقدار موثر ولتاژ متناوب متناسب است.

در dc دستگاه به حد یک ولت متر ایده آل نزدیک است.



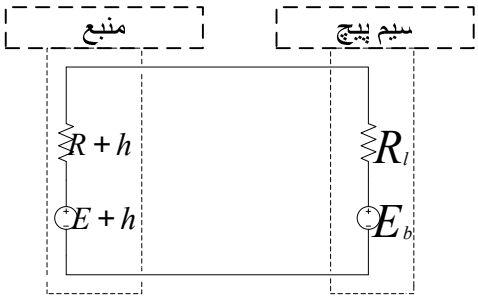
گالوانومتر:

گشتاور انحراف دهنده نیروی محرکه الکترومغناطیسی است.

گالوانومتر برای اندازه گیری مقادیر کوچک جریان به کار می رود.

مدارمعادل دستگاه

طبق معادله دیفرانسیل مربوط به رفتار گالوانومتر نشان می دهد که عبور جریان متناوب با فرکانس بیش از فرکانس طبیعی گالوانومتر با تضعیف بسیار شدیدی به حرکت عقربه منتقل می شود. لذا گالوانومتریک متوسط سنج یا dcسنج است.



ب)

پرسشها:

۱)الف) اساس کار پلهای اندازه گیری تعادلی ac را شرح دهید و تفاوت آنها را با پلهای تعادلی dc بنویسید؟

ب) اساس کار پلهای اندازه گیری تعادلی را شرح دهید و بگویید با این پلها کدام کمیتهای الکتریکی اندازه گیری می شوند.

ج) شرط تعادل برای پل اندازه گیری مقابل را بدست آورید.

د) عناصر متغیر این پل را چگونه انتخاب می کنید؟ به ترتیب نام ببرید؟

ه) تفاوت پلهای dc یا ac چیست؟

ص۹۷-پل:

۱) از پل ac شکل زیر برای اندازه گیری L_x با R_x سری شده است (مدل یک سلف واقعی) استفاده می شود. پارامترهای پل عبارتنداز: $C_1, \omega = 10^6 \, rad/s, C_2 = 3nF, R_2 = 50_{K\Omega}, R_1 = 20_{K\Omega}$ بین 10_{PF} تا 150_{PF} متغیر است همچنین R_4 را می توان از 0 الی $10_{K\Omega}$ تغییر داد.

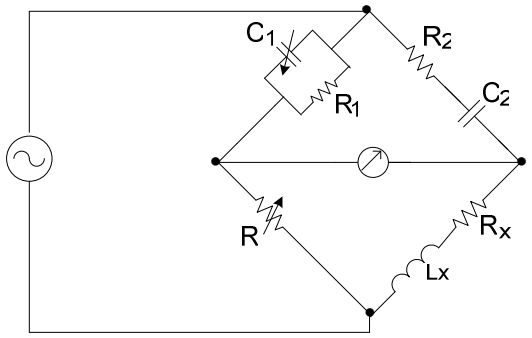
الف) نشان دهید معادله تعادل برای L_x, R_x مستقل از یکدیگر است.

(L_x, R_x را بر حسب $C_2, C_1, R_4, R_2, R_1, w$ بدست آورید)

ب) بزرگترین مقدار L_x, R_x که با این پل می شود اندازه گرفت چقدر است؟

ج) اگر فرکانس منبع دارای خطا باشد در اندازه گیر عناصر مجهول این پل چه خطایی پیش خواهد آمد؟

$$\theta = \frac{I^2}{2K}\frac{dL}{d\theta} \quad ، \quad \theta = \frac{I_1 I_2}{K}\cos\varphi\frac{d\mu}{d\theta} \quad ، \quad C = 0.41\frac{L}{R_S^2}$$



(حل الف

$$\left(\frac{\frac{1}{jwc_1}\times R_1}{\frac{1}{jwc_1}+R_1}\right)\times(jwL_x+R_x) = (R_2+\frac{1}{jwc_2})\times R_4$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\frac{1}{jc_1\times10^6}\times20\times10^3}{\frac{1}{jc_1}+20\times10^3}\right)\times(j10^6L_x+R_x) = (50\times10^3+\frac{1}{j10^3\times3\times10^{-9}})\times R_4$$

$$(j\times ۱۰^{۶}\times L_x\times R_x)=\left(\frac{(۵۰\times ۱۰^{۳}+\frac{۱}{jc_۱\times ۱۰^{۶}+۳\times ۱۰^{-۹}})\times R_۴}{\frac{۱}{jc_۱\times ۱۰^{۳}\times C_۱}+۲۰}\right)\times(\frac{۱}{j۱۰^{۶}\times C_۱}+۲۰\times ۱۰^{۳})$$

$$\Rightarrow (j\times ۱۰^{۶}\times L_x\times R_x)=R_۴(۰.۲۵+۳۳۳.۳۳C_۱)+j\times(-۱.۶۶\times ۱۰^{-۸}+۵\times ۱۰^{-۹}C_۱)R_۴$$

$$\begin{cases}R_x=R_۴(۰.۲۵+۳۳۳.۳۳C_۱\\ L_x=R_۴(-۱.۶۶\times ۱۰^{-۲}+۵\times ۱۰^{-۳}C_۱\end{cases}$$

ب) $R_x=۱۰\times ۱۰^{۳}(۰/۲۵+۳۳۳/۳۳\times ۱۰^{-۱۲}\times ۱۵۰)$

$$L_x=۱۰\times ۱۰^{۳}(-۱/۶۶\times ۱۰^{-۲}+۵\times ۱۰^{-۳}\times ۱۵۰\times ۱۰^{-۱۲})$$

ج) چون در بدست آوردن عناصر L_x ,R_x فرکانس وارد محاسبات نشده لذا پل مستقل از فرکانس میباشد.

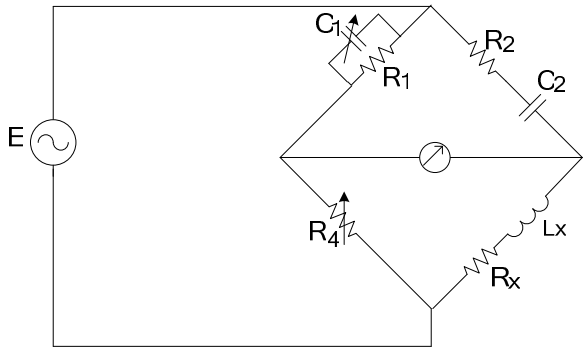
ص۹۸-پل:

۲)از پل ac شکل زیر برای اندازه گیری L_x با R_x استفاده می شود.: هم چنین مقدار C_1 را می توان بین 10^{PF} تا 150^{PF} متغیر داد و نیز مقاومت R_4 را می توان از 0 الی $10^{K\Omega}$ تغییر می کند. .

الف) با نوشتن رابطه حالت تعادل L_x, R_x را بر حسب مقادیر معلوم بدست آورید؟

(L_x, R_x را بر حسب $C_2, C_1, R_4, R_2, R_1, w$ بدست آورید)

ب) بزرگترین مقدار L_x, R_x که می توان با این پل اندازه گرفت را بدست آورید؟



$$\omega = ۱۰^{۶}\ rad/s$$
$$C_۲ = ۳^{nF}$$
$$R_۲ = ۵۰^{K\Omega}$$
$$R_۱ = ۲۰۰^{K\Omega}$$

(حل الف

$$\left(\frac{\frac{۱}{jwc_۱}\times R_۱}{\frac{۱}{jwc_۱}+R_۱}\right)\times(jwL_x+R_x)=(R_۲+\frac{۱}{jwc_۲})\times R_۴$$

$$\Rightarrow\left(\frac{\frac{۱}{jc_۱\times۱۰^{۶}}\times۲۰\times۱۰^{۳}}{\frac{۱}{jc_۱}+۲۰\times۱۰^{۳}}\right)\times(j۱۰^{۶}L_x+R_x)=(۵۰\times۱۰^{۳}+\frac{۱}{j۱۰^{۳}\times۳\times۱۰^{-۹}})\times R_۴$$

$$(j\times۱۰^{۶}\times L_x\times R_x)=\left(\frac{(۵۰\times۱۰^{۳}+\frac{۱}{jc_۱\times۱۰^{۶}+۳\times۱۰^{-۹}})\times R_۴}{\frac{۱}{jc_۱\times۱۰^{۳}\times C_۱}+۲۰}\right)\times(\frac{۱}{j۱۰^{۶}\times C_۱}+۲۰\times۱۰^{۳})$$

$$\Rightarrow(j\times۱۰^{۶}\times L_x\times R_x)=R_۴(۰.۲۵+۳۳۳.۳۳C_۱)+j\times(-۱.۶۶\times۱۰^{-۸}+۵\times۱۰^{-۹}C_۱)R_۴$$

$$\begin{cases}R_x=R_۴(۰.۲۵+۳۳۳.۳۳C_۱\\ L_x=R_۴(-۱.۶۶\times۱۰^{-۲}+۵\times۱۰^{-۳}C_۱\end{cases}$$

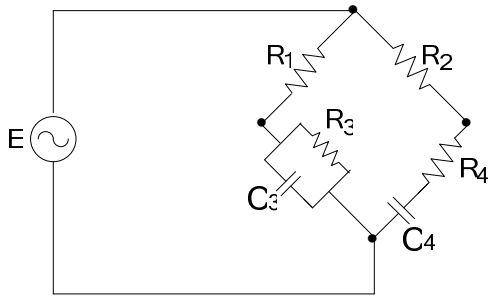
ب) $R_x=۱۰\times۱۰^{۳}(۰/۲۵+۳۳۳/۳۳\times۱۰^{-۱۲}\times۱۵۰)$

$$L_x = ۱۰\times۱۰^{۳}(-۱/۶۶\times۱۰^{-۲} + ۵\times۱۰^{-۳}\times۱۵۰\times۱۰^{-۱۲})$$

ص۹۹-پل:

۳)الف) شکل زیر پل وین برای اندازه گیری فرکانس مجهول را نشان می دهد. رابطه تعادل را بدست آورید و آن را جهت تعیین فرکانس منبع ساده کنید.

ب) با استفاده از رابطه های بدست آمده راههای عملی برای اینکه تعادل پل سریعتر برقرار شود را بیان کنید. در این حالت فرکانس منبع چه رابطه ای با عناصر پل خواهد داشت؟



$$R_۲\left(\frac{R_۳}{۱+j\omega C_۳R_۳}\right)=R_۱\left(R_۴+\frac{۱}{j\omega C_۴}\right)$$

$$\frac{R_۲}{R_۱}=\frac{R_۴}{R_۳}+\frac{C_۳}{C_۴}$$

$$f_x=\frac{۱}{\sqrt{۲\pi(R_۳R_۴C_۳C_۴)}}$$

در عمل برای سهولت رسیدن به حالت تعادل مدار را طوری تنظیم می کنند که همواره شرط رابطه f_x برقرار باشد با تغییر فرکانس فقط تنظیم جهت ایجاد شرط رابطه f_x لازم باشد. برای این کار C_4, C_3 مساوی و R_3, R_4 نیز یکسان انتخاب می شوند. بنابراین، $R_2=2R_1$ خواهد شد. از طرفی برای اعمال شرط f_x می توان فقط R_3, R_4 را به قسمی تغییر داد که همواره نسبت آنها برابر یک باشد تا شرط f_x مختل شود. برای این کار از پتانسیومترهای هم محور یا جعبه مقاومتهای یکسان استفاده می شود. پس از تنظیم پل و رسیدن به حالت پل مقدار فرکانس مجهول به سادگی محاسبه می شود

ص ۱۰۰-پل:

۳)الف) آیا می توان برای سنجش ظرفیت خازن از یک پل که در سه شاخه معلوم آن فقط مقاومت قرار گرفته است استفاده نمود؟ چرا؟

ب) اگر در پل وتستون خانزی را در شاخه چهارم پل قرار دهیم چه کمیتی اندازه گیری خواهد شد؟

ج) اگر مقاومتهای R_1, R_2, R_3 هر کدام با $\pm 5\%$ خطا قرائت شوند خطای اندازه گیری چقدر R_4 است؟

الف) خیر، زیرا قسمت موهومی ندارد.

ب) کمیتی غیر از مقاومت قابل اندازه گیری نیست زیرا فقط یک خازن در شاخه ۴ قرار دارد و ثانیاً منبع dc است.

ج) چون R_x از رابطه $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$ بدست می آید لذا خطا برابر است با:

$$\frac{\delta R_x}{R_x} = \pm\left(\frac{\delta R_1}{R_1} + \frac{\delta R_2}{R_2} + \frac{\delta R}{R_3}\right)$$

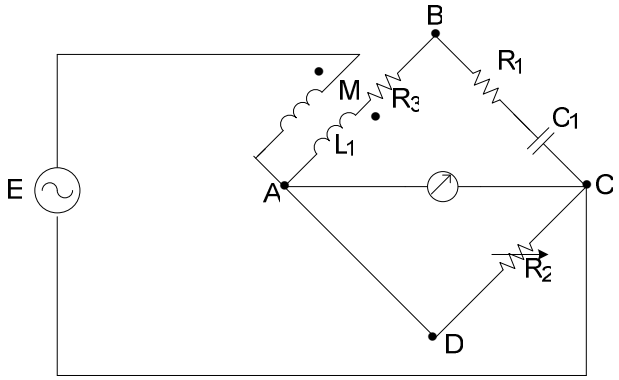
$$\Rightarrow \frac{\delta R_x}{R_x} = \pm(0/5\% + 0.5\% + 0/5\%) = \pm 1/5\%$$

$$\delta R_x = \frac{\delta R_x}{R_x} \times R_x \rightarrow \delta R_x = ((1/5\%) \times R_x)$$

ص۱۰۱-پل:

۴)الف) شرط تعادل را برای پل شکل زیر بنویسید. از این پل برای چه منظوری استفاده می شود؟

ب) علامت M چه نقشی در تعادل پل دارد (اگر M مثبت یا منفی باشد در تعادل پل چه اثری دارد)



الف) برای تعیین اندوکتانس متقابل به کار می رود.

$$i_1(R_1 - \frac{j}{c\omega}) = R_2 i_2$$

$$i_1(R_3 + j\omega L_3) - (i_1 + i_2) j\omega M = 0$$

$$i_1(R_3 + j\omega L_3) - i_1\left(1 + \frac{R_1}{R_2} - \frac{j}{R_2 C\omega}\right) j\omega M = 0$$

$$M = R_2 R_3 C_1$$

$$L_3 = M\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = R_3 C(R_2 + R_1)$$