به نام خدا

فهرست :

آزمایش شماره ۱ : خواندن مقدار مقاومت ها ..... صفحه ۱

آزمایش شماره ۲ : بررسی قانون KVL ..... صفحه ۷

آزمایش شماره ۳ : بررسی قانون KCL ..... صفحه ۹

آزمایش شماره ۴ : بررسی قانون تقسیم ولتاژ در مقاومت های سری ..... صفحه ۱۰

آزمایش شماره ۵ : بررسی قانون تقسیم جریان در مقاومت های موازی ..... صفحه ۱۱

آزمایش شماره ۶ : بررسی روش گره در حل مدار ..... صفحه ۱۲

آزمایش شماره ۷ : بررسی روش مش در حل مدار ..... صفحه ۱۴

آزمایش شماره ۸ : بررسی مدارهای معادل نورتن و تونن ..... صفحه ۱۶

آزمایش شماره ۹ : بررسی روش جمع آثار در حل مدار ..... صفحه ۲۰

آزمایش شماره ۱۰ : چند شکل موج ساده ..... صفحه ۲۱

آزمایش شماره ۱۱ : فیلتر پایین گذر ..... صفحه ۲۲

آزمایش شماره ۱۲ : فیلتر بالا گذر ..... صفحه ۲۶

آزمایش شماره ۱۳ : فیلتر میان گذر ..... صفحه ۲۸

کار با اهم متر

از اهم متر برای اندازه گیری مقدار اهمی مقاومت ها استفاده می شود. برای این منظور ، ابتدا سلکتور وسط دستگاه مالتی متر را بر روی علامت اهم (Ω) قرار دهید. سپس سیم مشکی را به ترمینال مشترک (com) و سیم قرمز را به ترمینالی که با اهم مشخص شده است متصل نمایید. پس از آن این دو سیم را برای اندازه گیری مقدار اهمی یک مقاومت، به دو سر آن مقاومت اتصال دهید.

دستور کار آزمایش

۵ مقاومت مختلف را انتخاب کرده و جدول زیر را برای آن ها تکمیل نمایید.

نمونه	رنگ حلقه اول	رنگ حلقه دوم	رنگ حلقه سوم	رنگ حلقه چهارم	مقدار نامی مقاومت به اهم	مقدار تلرانس مجاز به اهم	محدوده تغییرات مجاز به اهم	مقدار مقاومت با اهم متر به اهم	آیا مقدار اهم اندازه گیری شده در محدوده مجاز قرار دارد؟
۱									
۲									
۳									
٤									
۵									

کار با مالتی متر

مالتی متر به معنی دستگاه چند سنجشی می باشد که مهمترین آن ها اندازه گیری ولتاژ و جریان و مقدار اهم است. علاوه بر این ها، مالتی مترهای جدید قادر به اندازه گیری ظرفیت خازن ها، ضریب تقویت (β) ترانزیستورها، اندازه گیری زمان، اندازه گیری فرکانس، تست پیوستگی، تزریق سیگنال خروجی، اندازه گیری خاصیت سلفی، اندازه گیری دما و ... می باشد.

در اکثر این سنجش ها، از دو پروب (سیم) مالتی متر استفاده می شود که سیم مشکی در تمام این اندازه گیری ها به محل ثابت ترمینال مشترک یا com (مخفف common) متصل می شود ؛ در حالیکه سیم قرمز بر حسب نوع اندازه گـــــیری ، ممکن است در ترمینال های مختلفی قرار گیرد که در پائین هر ترمینال نوشته شده است که آن ترمینال برای چه نوع اندازه گیری مناسب می باشد.

در آزمایش پیشین اندازه گیری مقاومت را انجـام دادیم. اکنـون به چگونگـی انـدازه گیری ولتاژ و جـریان مـی پردازیم.

اندازه گیری ولتاژ

برای این منظور از ولت متر استفاده می کنیم. بنابراین ابتدا سلکتور وسط مالتی متر را بر روی ولت قرار داده و پروب های مالتی متر را به دو سر محلی که می خواهیم اختلاف ولتاژ آن ها را اندازه گیری کنیم اتصال می دهیم. توجه داشته باشید که چنانچه پلاریته ولتاژ ها در شکل مدار مشخص شده باشد، باید پروب قرمز را به سر مثبت و پروب مشکی را به سر منفی بزنیم. اندازه گیری ولتاژ برای دو نوع ولتاژ مستقیم (DC) و ولتاژ متناوب سینوسی (AC) انجام می شود. در نوع AC قرائت ولت متر، مقدار موثر ولتاژ متناوب سینوسی می باشد.

تعریف مقدار موثر :

برای یک شکل موج متغیر با زمان، عدد ثابتی را تعریف می کنند که از رابطه زیر به دست می آید :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T v^2(t)dt}$$

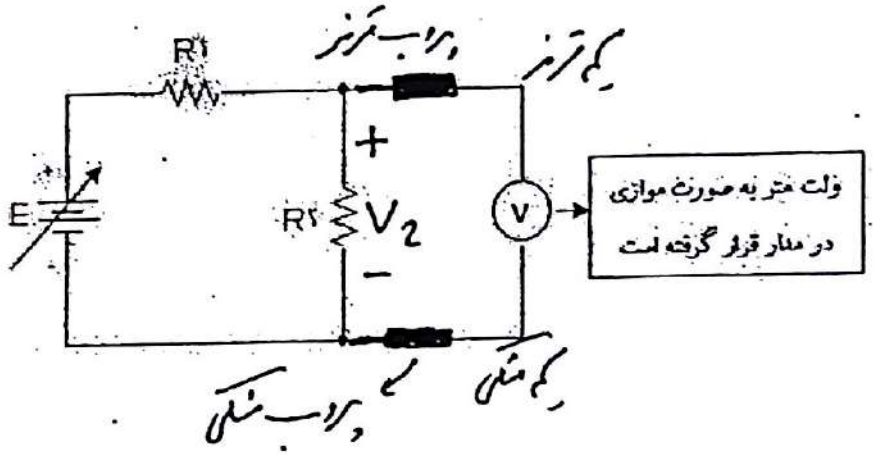
V_{rms} = root mean squared

(جذر مقدار متوسط قوه ۲)

در قرائت DC چنانچه این ولتاژ در دو سر یک مقاومت باشد، میزان تلفات در آن $\frac{V^2}{R}$ است. در قرائت AC نیز چنانچه مقدار قرائت را به توان ۲ برسانیم و بر R تقسیم کنیم ، این رابطه ، مقدار تلفات در مقاومت را نشان می دهد.

نکته : ولت متر AC تنها برای شکل موج های سینوسی تا فرکانس ۵۰۰۰ هرتز مناسب است.

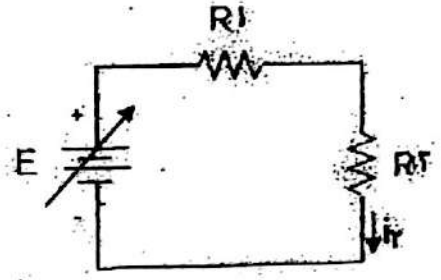
نکته : ولت متر با آلمانی که می خواهیم ولتاژ دو سر آن را اندازه بگیریم به صورت موازی قرار می گیرد.



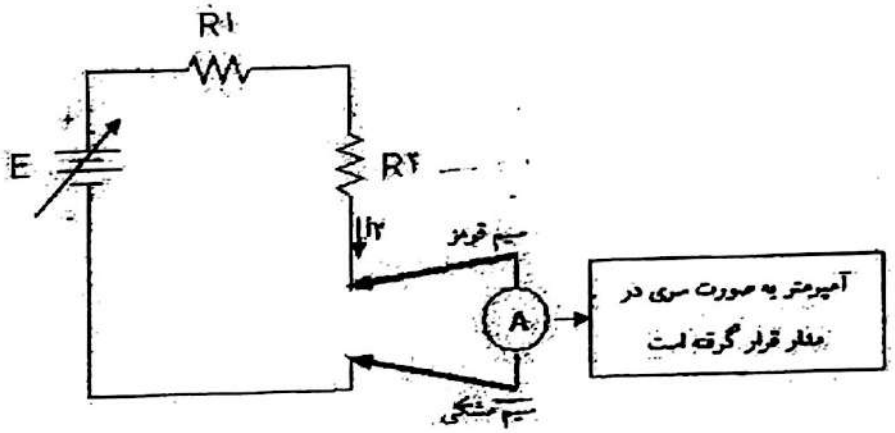
اندازه گیری جریان

برای اندازه گیری جریان در مدار، باید آمپرمتر به صورت سری در مدار قرار گیرد. جهت استفاده از آمپرمتر، سلکتور وسط مالتی متر را بر روی آمپرمتر قرار می دهیم. درباره اتصال پروب ها به مالتی متر نیز باید گفت که سیم قرمز به ترمینالی زده می شود که با حرف A نشان داده شده است و سیم مشکی به ترمینال com متصل می گردد. چنانچه در شکل مدار، جهت جریان با فلش مشخص شده باشد، جریان باید از سیم قرمز وارد و از سیم مشکی خارج شود.

به عنوان مثال ، اگر بخواهیم در مدار نشان داده شده در صحفه بعد ، جریان i_2 را اندازه بگیریم،



آمپرمتر باید به صورت زیر در مدار قرار گیرد.



آمپرمتر AC برای اندازه گیری جریان های متناوب سینوسی استفاده می شود و قرائت آمپرمتر برابر با مقدار موثر جریان سینوسی می باشد. چنانچه این جریان از یک مقاومت R عبور کند، حاصل ضرب R در مقدار موثر جریان به قوه ۲ ، تلفات توان در مقاومت را نشان می دهد.

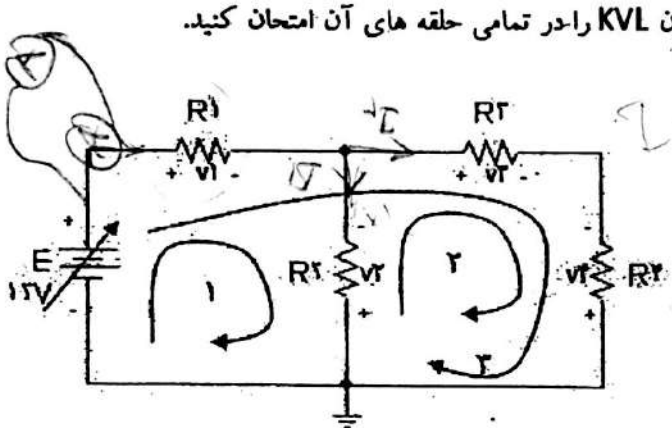
آزمایش شماره ۲

« بررسی قانون KVL »

قانون KVL بیان می دارد که مجموع ولتاژها در هر حلقه از مدار صفر می باشد.

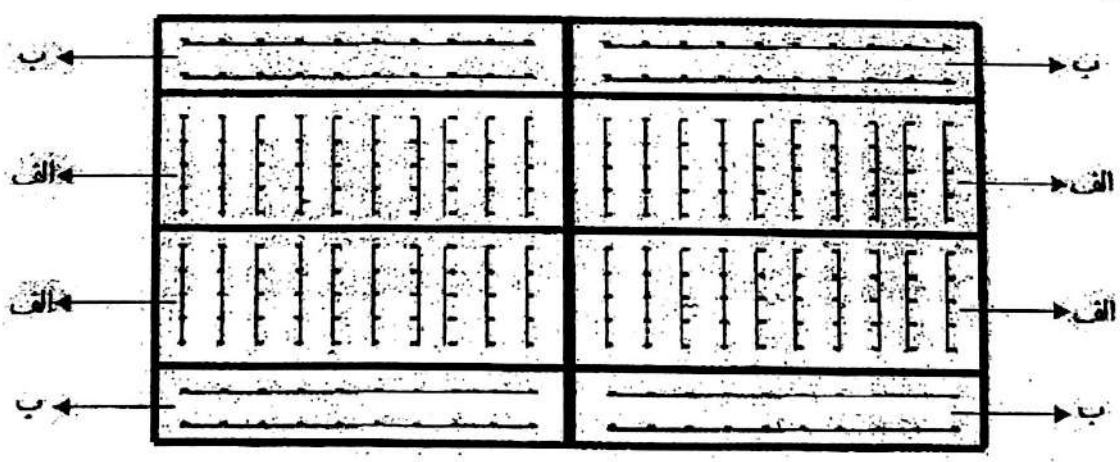
دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید و قانون KVL را در تمامی حلقه های آن امتحان کنید.



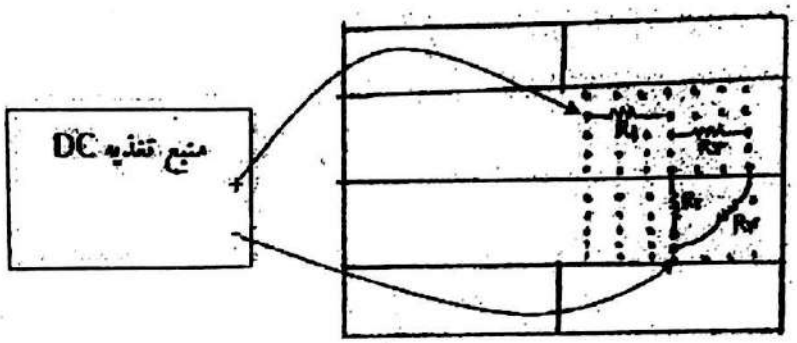
برد بورد

بردبورد وسیله ای برای اتصال موقت المان ها می باشد که سوراخ های ریزی بر روی آن وجود دارد. قسمت های اصلی یک بردبورد شامل دو قسمت الف و ب می باشد که در شکل زیر نمایش داده شده است :



در قسمت های الف ارتباط سوراخ ها به صورت عمودی ۵ تایی است؛ در حالیکه در قسمت های ب ارتباط سوراخ ها به صورت افقی می باشد.

برای مثال، مدار این آزمایش (مدار موجود در صفحه قبل) به صورت زیر بر روی بردبورد قرار می گیرد:



نکته : برای تنظیم ولتاژ منبع تغذیه DC ، از کلید های تنظیم ولتاژ موجود بر روی منبع، استفاده می کنیم. مقدار ولتاژ منبع، توسط میتر ولتاژ قابل مشاهده است. می توان با استفاده از ولت متر DC نیز از مقدار ولتاژ منبع آگاهی حاصل نمود.

راهنمایی : روابط KVL حلقه های موجود در مدار این آزمایش ، به صورت زیر می باشد که با جایگذاری مقادیر حاصل از اندازه گیری V۱ , V۲ , V۳ , V۴ در آن ها ، درستی این روابط بررسی می گردد.

حلقه ۱ : $-E + V_1 - V_2 = 0$

حلقه ۲ : $V_2 + V_3 - V_4 = 0$

حلقه ۳ : $-E + V_1 + V_3 - V_4 = 0$

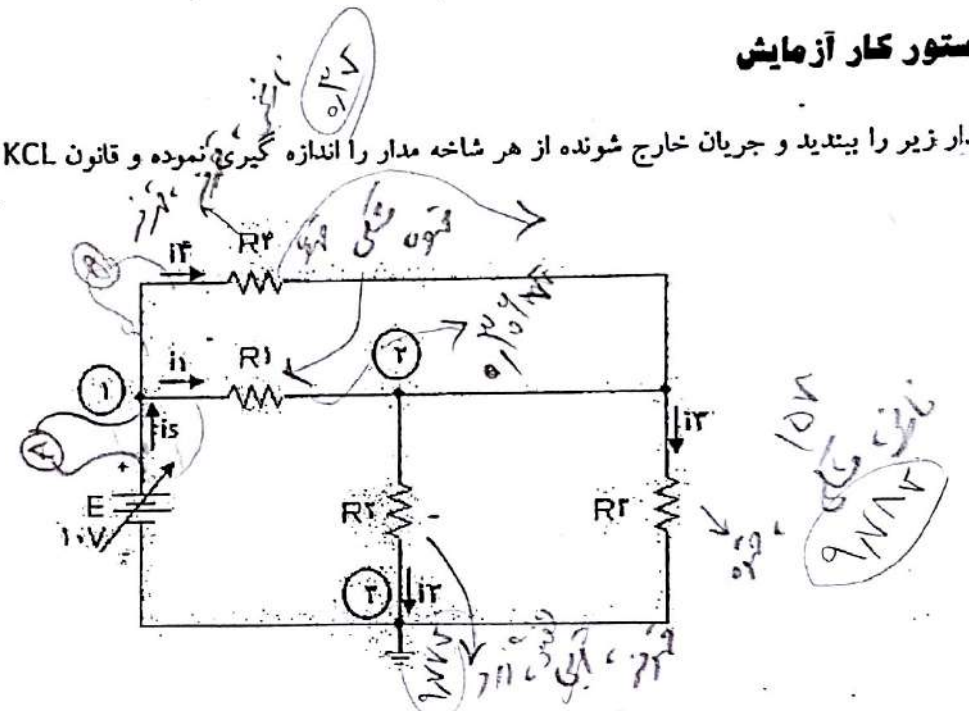
آزمایش شماره ۳

« بررسی قانون KCL »

قانون KCL بیان می دارد که مجموع جریان های خارج شونده از هر گره مدار صفر است.

دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید و جریان خارج شونده از هر شاخه مدار را اندازه گیری نموده و قانون KCL را بررسی کنید.

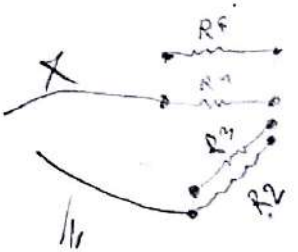


راهنمایی : روابط KCL بـرای هر گـره از مـدار بالا به صورت زیر مـی باشد و با جایگذاری مقادیر حـاصل از اندازه گیری جریان های خارج شونده از شاخه های مدار در آن ها، درستی این روابط قابل بررسی خواهد بود.

گره ۱ : $-is + i_1 + i_4 = 0$

گره ۲ : $-i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$

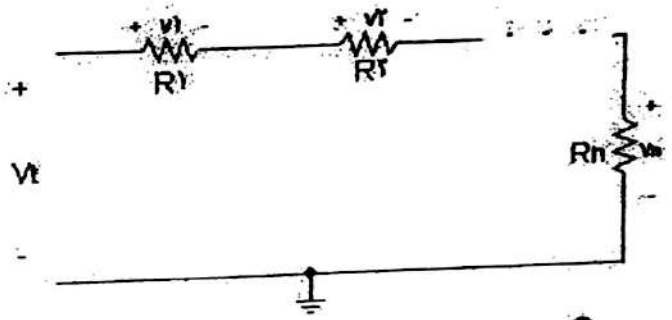
گره ۳ : $-is + i_2 + i_3 = 0$



آزمایش شماره ۴

«بررسی قانون تقسیم ولتاژ در مقاومت های سری»

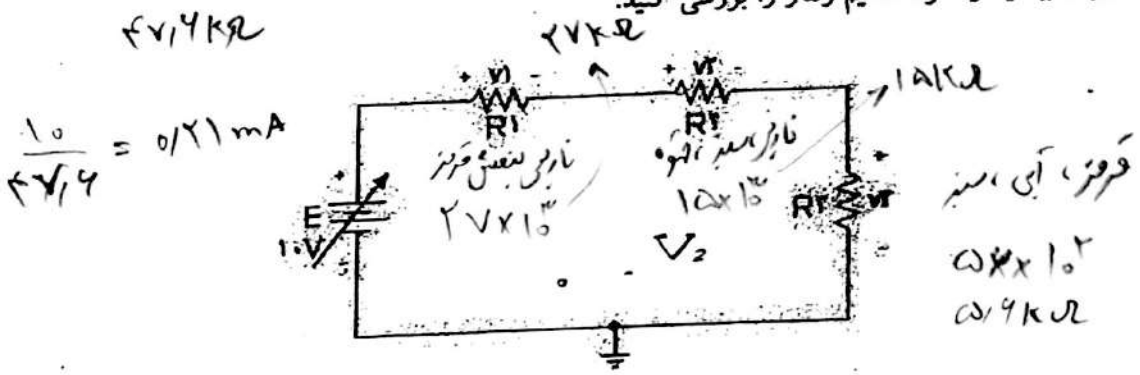
قانون تقسیم ولتاژ در مقاومت های سری بیان می دارد که افت ولتاژ در دو سر هر مقاومت در حالت سری، به نسبت مقدار اهم آن مقاومت به مجموع مقاومت ها می باشد.



$$Vk = \frac{Rk}{R1 + R2 + \cdots + Rn} * Vt$$

دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید و قانون تقسیم ولتاژ را بررسی کنید.

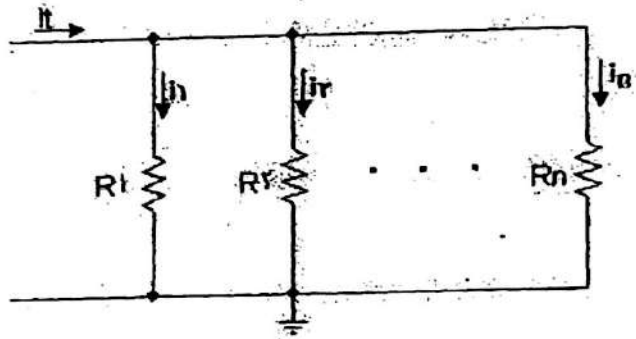


راهنمایی : V1 ، V2 و V3 را ابتدا توسط ولت متر و پس از آن از روش تئوری (با استفاده از فرمول بالا) به دست آورید. سپس نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه نمایید.

آزمایش شماره ۵

« بررسی قانون تقسیم جریان در مقاومت های موازی»

قانون تقسیم جریان در مقاومت های موازی بیان می دارد که میزان جریان عبوری از هر مقاومت در حالت موازی، به نسبت رسانایی آن مقاومت، به مجموع کل رسانایی مقاومت ها می باشد.

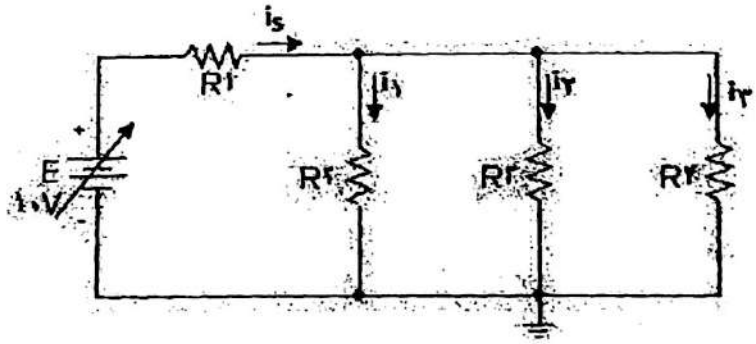


$$Ik = \frac{Gk}{G1 + G2 + \cdots + Gn} * It$$

رسانایی : $G = \frac{1}{R}$

دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید و قانون تقسیم جریان را بررسی نمایید.



راهنمایی : Is ،I۱ ، I۲ و I۳ را ابتدا توسط آمپرمتر و پس از آن از روش تئوری (با استفاده از فرمول بالا) به دست آورید. سپس نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه نمایید.

آزمایش شماره ۶

«بررسی روش گره در حل مدار»

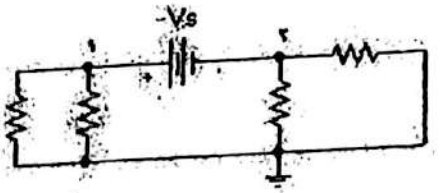
در این روش یک گره به عنوان گره مبنا انتخاب می شود و ولتاژ سایر گره ها نسبت به این گره محاسبه می شود. برای هر یک از گره ها به غیر از گره مبنا، یک معادله KCL بر حسب ولتاژ گره ها نوشته می شود. برای یک مدار با n+۱ گره، n گره مستقل و n معادله n مجهولی بر حسب ولتاژ گره ها به دست می آید. با حل این چند معادله چند مجهول، ولتاژ گره ها حاصل می گردد.

حالات استثناء :

۱ ـ یک منبع ولتاژ بین دو گره غیر مبنا باشد. ← آن دو گره را یک سوپرگره در نظر گرفته و KCL را برای سوپرگره حل می نماییم.

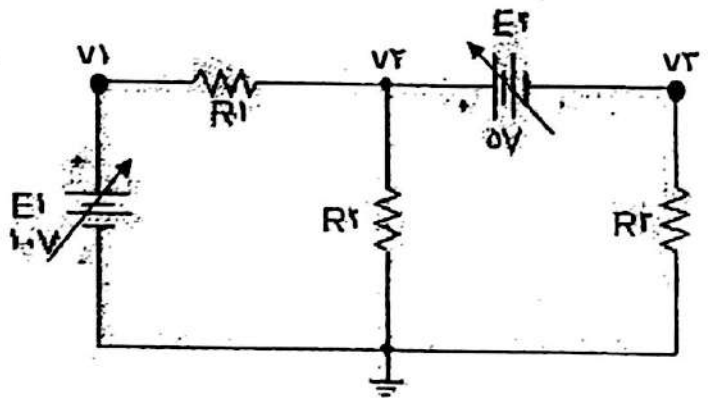
۲ ـ یک منبع ولتاژ بین یک گره و گره مبنا باشد. ← ولتاژ آن گره با رعایت علامت، برابر مقدار منبع ولتاژ خواهد بود.

نکته : در حالت استثنای اول ، یک معادله نیز به صورت $V_1 - V_2 = V_s$ به مجموعه معادلات گره ها افزوده می گردد. در این حالت تفاضل ولتاژهای دو گره متصل به منبع، برابر با ولتاژ منبع می باشد. (با توجه به شکل زیر).



دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید. ولتاژ های هر شاخه را اندازه گیری نمایید. سپس با استفاده از روش گره نیز مدار را تحلیل کرده و پاسخ های تئوری را با عملی مقایسه نمایید.



راهنمایی : برای تحلیل مدار بالا به صورت تئوری و با استفاده از روش گره ، دو معادله دو مجهول زیر را حل نمایید.

معادله مربوط به گره۱ : $V_1 = E_1 = 10v$

معادله مربوط به گره۲و۳ : $(V_2 - V_1)/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3 = 0$

معادله مربوط به سوپر گره : $V_3 - V_2 = E_2 = 5v$

در نتیجه دو معادله دو مجهول زیر حاصل می گردد :

$(V_2 - 10)/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3 = 0$

$V_3 - V_2 = 5$

که می توان آن را به شکل ساده شده زیر تبدیل نمود.

$(1/R_1 + 1/R_2)V_2 + (1/R_3)V_3 = 10/R_1$

$[\quad 1 \quad]V_2 + [\quad 1 \quad]V_3 = 5$

آزمایش شماره ۷

« بررسی روش مش در حل مدار»

در این روش جریان های فرضی در هر مش از مدار را در نظر می گیرند. معادله KVL برای هر مش بر حسب جریان نوشته می شود. از حل این معادلات KVL ، جریان های هر مش محاسبه می گردد. جریان هر شاخه برابر جمع جبری جریان های دو مش مجاور آن شاخه می باشد.

حالات استثناء :

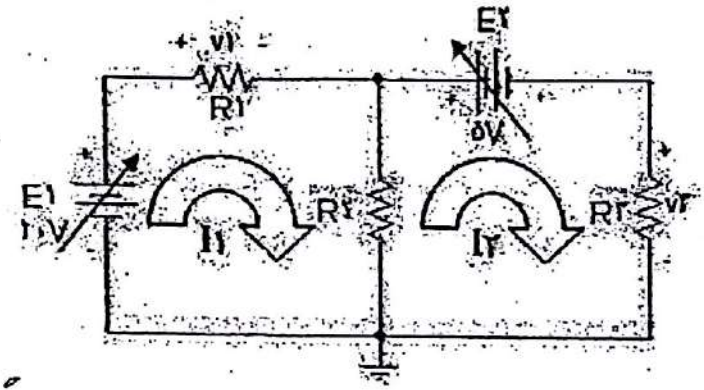
۱ ـ منبع جریان در یک شاخه کناری باشد ← جریان آن مش با رعایت علامت، با آن منبع برابر است.

۲ ـ منبع جریان در یک شاخه میانی باشد ← دو مشی را که آن منبع در آن ها مشترک است به عنوان یک سوپرمش در نظر گرفته و معادله KVL برای آن سوپرمش نوشته خواهد شد. پس برای دو مش، یک معادله KVL نوشته می شود و به این ترتیب یک معادله از دست می رود که به جای آن می نویسیم که تفاضل جریان های دو مش موجود در یک سوپرمش، برابر مقدار جریان منبع می باشد. (مثلا $I_1 - I_2 = I_S$)

در این آزمایشگاه به سبب عدم وجود منبع جریان، با حالات استثناء مواجه نخواهیم شد.

دستور کار آزمایش

مدار نشان داده در صفحه بعد را ببندید و جریان های هر مش (جریان های عبوری از مقاومت های R_1 و R_2) را اندازه گیری نمایید. سپس با استفاده از روش مش مدار را تحلیل کرده و حاصل را با مقادیر به دست آمده از اندازه گیری مقایسه کنید.



راهنمایی : برای تحلیل مدار بالا به صورت تئوری و با استفاده از روش مش ، دو معادله دو مجهول زیر را حل نمایید.

معادله KVL در مش۱ : $-E_1 + R_1 I_1 + R_2(I_1 - I_2) = 0$

معادله KVL در مش۲ : $R_2(I_2 - I_1) + E_2 + R_3 I_2 = 0$

که می توان آن را به شکل ساده شده زیر تبدیل نمود.

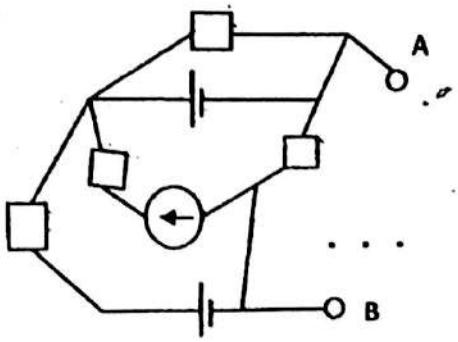
$(R_1 + R_2)I_1 + (-R_2)I_2 = E_1$

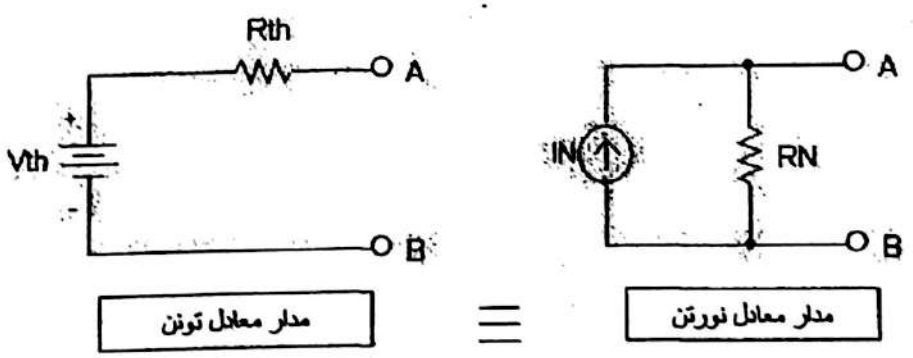
$(-R_2)I_1 + (R_2 + R_3)I_2 = -E_2$

آزمایش شماره ۸

«بررسی مدارهای معادل نورتن و تونن»

برای هر شبکه پیچیده از مقاومت ها و منابع، برای هر دو گره دلخواه ، می توان مدار را به صورت زیر خلاصه کرد :





مزیت ایـن مدارهای معادل در این است که یک دید ساده از مدار ارایه می دهند و بارهای مختلف را می تـوان به کمک آن ها به سادگی حل نمود.

روش محاسبه مدار معادل تونن

ابتدا بار RL را از مدار جدا می کنیم. پس از آن مراحل زیر را دنبال می نماییم:

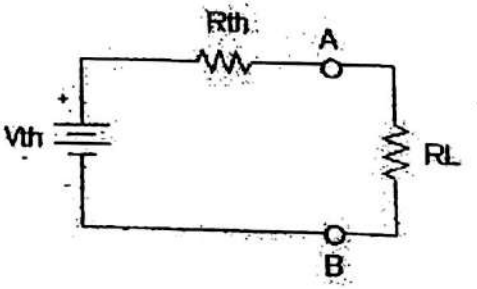
۱ ـ ولتاژ مدار باز سرهای B و A را اندازه گیری یا محاسبه می کنیم. (Voc = Vth)

۲ ـ جریان اتصال کوتاه سرهای B و A را اندازه گیری یا محاسبه می کنیم.(Isc = IN)

اکنون با در اختیار داشتن Voc = Vth و Isc ، می توان Rth را از رابطه زیر به دست آورد:

$$Rth = \frac{Vth}{Isc}$$

بنابراین مدار معادل تونن را به دست می آوریم و اکنون می توانیم مقاومت بار RL را به این مدار معادل بیفزاییم که در این صورت مدار زیر حاصل می شود:



در مدار بالا روابط زیر نیز برقرار می باشد:

$$Il = \frac{Vth}{Rl + Rth} \quad و \quad Vl = Rl * Il = Voc$$

که مشاهده می شود محاسبات جریان و ولتاژ بار بسیار ساده شده اند.

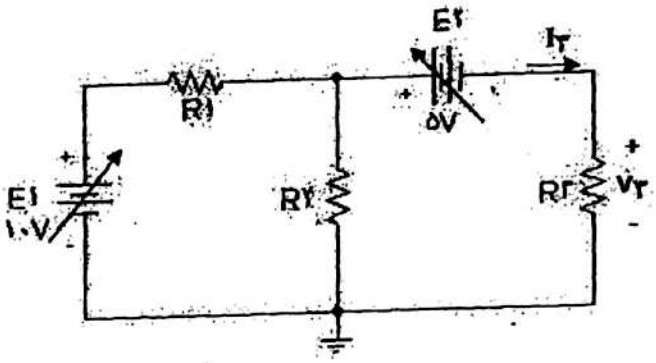
روش محاسبه مدار معادل نورتن

برای این منظور نیز مانند آنچه درباره محاسبه مدار معادل تونن گفته شد، Voc و Isc را به دست آورده و به کمک آن ها Rth که همان R_N است را محاسبه می کنیم. I_N نیز برابر با Isc می باشد. بنابراین روابط زیر برای محاسبه مدار معادل نورتن مورد استفاده قرار می گیرد :

$$IN = Isc \quad , \quad RN = Rth = \frac{Voc}{Isc}$$

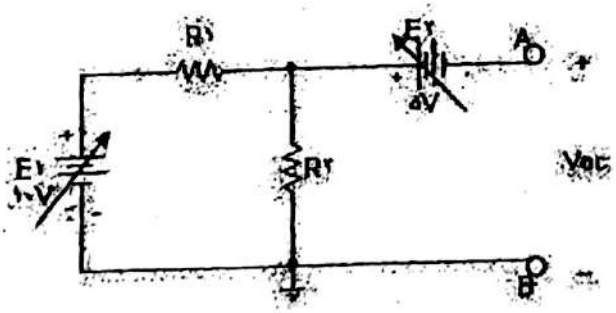
دستور کار آزمایش

A ـ مدار مقابل را ببندید و V۳ و $I۳=\frac{V3}{R3}$ را اندازه گیری کنید.



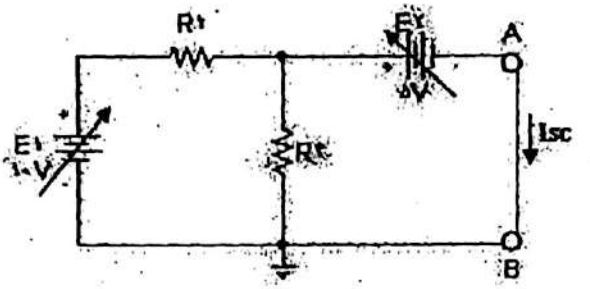
الف ـ R۳ را از مدار بیرون آورده و Voc را اندازه گیری کنید.

ب ـ R۳ را از مدار بیرون آورده و Voc را حساب کنید.



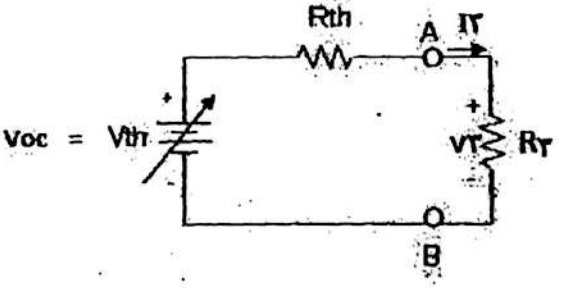
ج ـ R۳ را از مدار بیرون آورده و Isc را اندازه گیری کنید.

د ـ R۳ را از مدار بیرون آورده و Isc را حساب کنید.



ر _ Rth = Voc /Isc را حساب کنید.

B_ مدار زیر را ببندید. سپس V۳ و $I۳=\frac{V3}{R3}$ را اندازه گیری کنید. پس از آن نتایج به دست آمده از این اندازه گیری را با جواب حاصل از بخش A مقایسه نمایید و نتیجه بگیرید که مدار تونن همان اثر مدار اصلی را بر R۳ دارد.



راهنمایی : فرمول های محاسبه voc و Isc به صورت زیر است. آن ها را اثبات کنید.

$$voc = [(R_۲ * E_۱) / (R_۱ + R_۲)] - E_۲$$

$$Isc = -E_۲ / (R_۱ || R_۲) + E_۱/R_۱ = -E_۲ / [(R_۱ * R_۲)/(R_۱ + R_۲)] + E_۱/R_۱$$

آزمایش شماره ۹

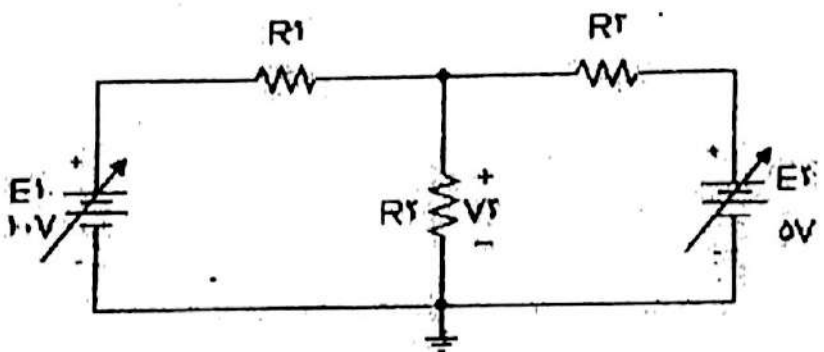
« بررسی روش جمع آثار در حل مدار»

قانون جمع آثار بیان می دارد که پاسخ مدار به تعدادی منبع مستقل، برابر با مجموع پاسخ مدار به تک تک آن منابع می باشد.

در حل مدار با چند منبع، یک منبع مستقل را نگه داشته و سایر منابع مستقل را صفر می کنیم. صفر کردن منابع جریان ، معادل مدار باز کردن آن ها و صفر کردن منابع ولتاژ ، معادل اتصال کوتاه کردن آن ها می باشد.

دستور کار آزمایش

مدار زیر را ببندید.



الف) V۲ را اندازه گیری کنید و نیز آن را از یک روش حل مدار مانند روش مش یا گره محاسبه کرده و پاسخ ها را با یکدیگر مقایسه نمایید. آیا پاسخ ها با هم برابر هستند؟

راهنمایی : حل مدار از روش گره به صورت زیر است : $V_2 = (V_2 - E_1)/R_1 + V_2/R_2 + (V_2 - E_2)/R_2$

ب) V۲ حاصل از E۱ تنها و V۲ حاصل از E۲ تنها را اندازه گیری کنید و سپس آن ها را با یکدیگر جمع نمایید. آیا پاسخ حاصل با پاسخ به دست آمده از بخش الف برابر می باشد؟

ج) بخش ب را به صورت تئوری انجام دهید و پاسخ به دست آمده را با بخش الف و ب مقایسه کنید.

راهنمایی : فرمول حل مدار از روش جمع آثار به صورت زیر است. آن را اثبات کنید.

$$V_2 = (R_2||R_2)/(R_1+R_2||R_2)*E_1 + (R_1||R_2)/(R_1||R_2+R_2)*E_2$$

حاصل از E۱ | حاصل از E۲

آزمایش شماره ۱۰

« چند شکل موج ساده »

اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ وسیله ای برای مشاهده تغییرات زمانی ولتاژ الکتریکی بر حسب زمان می باشد. اسیلوسکوپ در حقیقت نوعی ولت متر لحظه ای است. این وسیله برای مشاهده شکل موج جریان مناسب نمی باشد و از جمله ابزارهایی است که به صورت موازی با المان مورد نظر قرار می گیرد و نمی توان آن را به شکل سری در مدار قرار داد. در ادامه به معرفی بخش های مختلف اسیلوسکوپ می پردازیم.

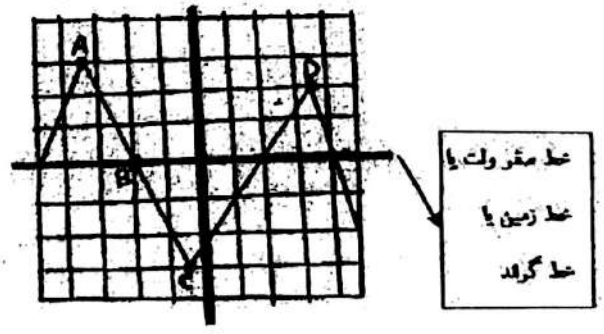
صفحه نمایش موجود بر روی اسیلوسکوپ دارای ۱۰ ستون عمودی و ۸ ردیف افقی است که ابعاد هر خانه موجود بر روی این صفحه نمایش یک سانتی متر در یک سانتی متر (یک سانتی متر مربع) می باشد.

دو جزء مهم دستگاه اسیلوسکوپ عبارتند از :

۱_ سلکتور ولت سنجی (volt / div)

۲_ سلکتور زمان سنجی (time / div)

برای آشنایی بیشتر با طرز کار این دو جزء ، فرض کنید که شکل موج زیر بر روی صحفه نمایش اسیلوسکوپ در حال نمایش است.



برای اندازه گیری ولتاژ هر نقطه از شکل موج به ترتیب زیر عمل می کنیم:

ولتاژ یک نقطه از شکل موج =

فاصله عمودی آن نقطه تا خط زمین (بر حسب تعداد خانه عمودی) × عدد سلکتور volt / div

برای اندازه گیری فاصله زمانی بین دو نقطه، از فرمول زیر استفاده می کنیم:

فاصله زمانی بین دو نقطه =

فاصله افقی آن دو نقطه از یکدیگر (بر حسب تعداد خانه افقی) × عدد سلکتور time / div

برای مثال اگر سلکتور volt / div بر روی ۲ ولت و سلکتور time / div بر روی ۵ میلی ثانیه تنظیم شده باشد، آنگاه برای نقاط A,B,C,D در شکل نشان داده شده در بالا داریم :

محاسبات ولتاژها

V_A = ۳ (خانه عمودی) * ۲ (volt / div) = ۶ (v)

V_B = ۰ (v)

V_C = -۲ (خانه عمودی) * ۲ (volt / div) = -۴ (v)

V_D = ۲ (خانه عمودی) * ۲ (volt / div) = ۴ (v)

محاسبات زمان

$T_{A,B}$ = ۱/۵ (خانه افقی) * ۵ (msec / div) = ۷/۵ (msec)

$T_{A,C}$ = ۳ (خانه افقی) * ۵ (msec / div) = ۱۵ (msec)

$T_{B,C}$ = ۱/۵ (خانه افقی) * ۵ (msec / div) = ۷/۵ (msec)

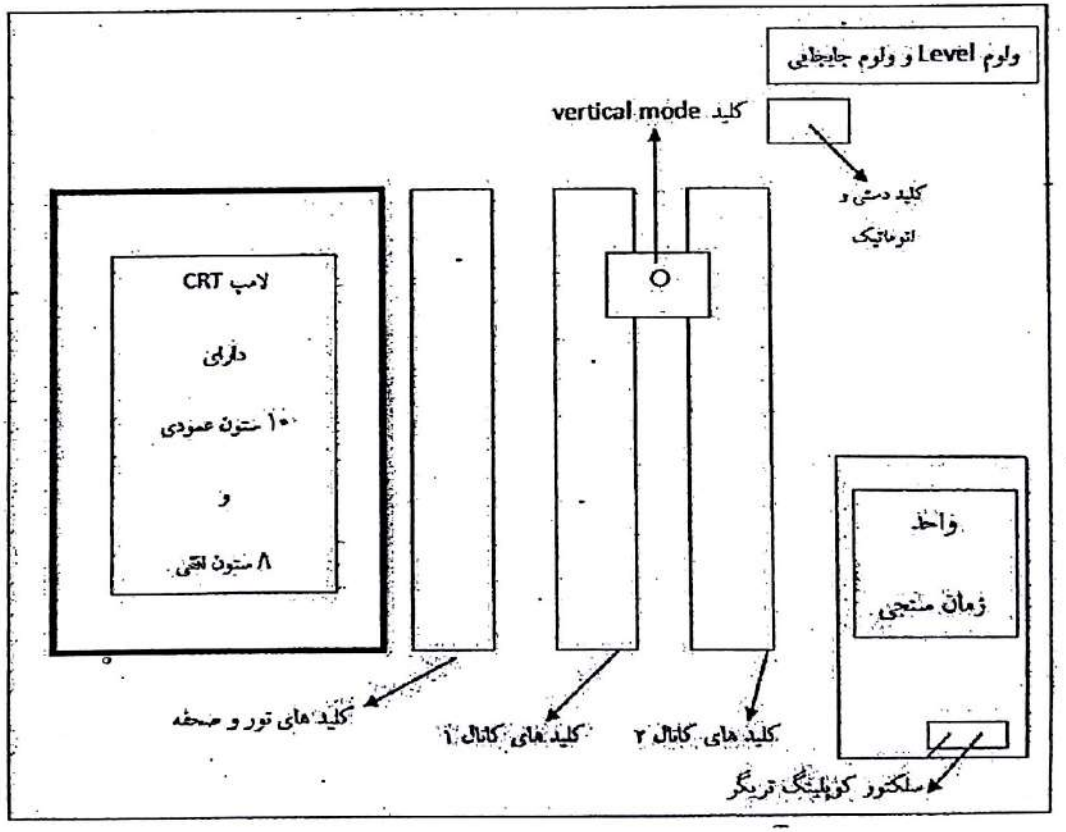
و به همین ترتیب محاسبات زمانی مربوط به نقطه D را نیز به دست می آوریم. $T_{A,B}$ به معنی فاصله زمانی از نقطه A تا نقطه B می باشد و الی آخر.

به این ترتیب می توان ولتاژ و زمان را توسط اسیلوسکوپ اندازه گیری نمود.

در مثال های بالا کار اساسی اسیلوسکوپ در اندازه گیری ولتاژ و زمان نشان داده شد. اکنون به جزئیات بیشتری می پردازیم.

از آنجا که بیشتر اسیلوسکوپ های موجود در آزمایشگاه از نوع HUNG CHANG کره می باشد، روش کار با این نوع اسیلوسکوپ را شرح می دهیم؛ هر چند که انواع دیگر نیز در کلیات ارایه شده در زیر تفاوت چندانی ندارند.

قسمت های اصلی کلیدهای کنترل بر روی پانل این اسیلوسکوپ در شکل زیر نشان داده شده است که اکنون به معرفی آن ها می پردازیم.



کلیدهای نور صفحه

این کلیدها شامل موارد زیر می باشند :

۱ـ شدت نور (Intensity) : برای تنظیم شدت نور

۲ـ تنظیم کانونی (Focus) : برای نازک کردن خط نمایش

۳ـ نورانی کردن تقسیمات صفحه CRT (Scale illumination) : برای محیط های تاریک

۴ـ چرخش خط نورانی (با پیچ گوشتی) (Trace rotation) : در حالت عادی که ولتاژ صفر ولت را اعمال می کنیم، این خط نورانی نیز باید صفر را نشان دهد (یعنی روی خط زمین باشد) که اگر اینگونه نبود، می توان توسط این کلید آن را اصلاح نمود.

کلید های کانال ۱ و ۲

این کلیدها شامل موارد زیر می باشند :

۱ـ سلکتور volt / div : که روش به کارگیری آن در مثال های پیش گفته شد.

۲ـ ولوم کالیبریشن : که معمولاً در وسط سلکتور volt / div جای دارد. چنانچه این ولوم در حالت CAL. باشد، اعداد سلکتور volt / div همان مقداری است که بر روی پانل نوشته شده است ؛ در غیر این صورت این اعداد معتبر نیستند. در مواردی که می خواهیم شکل موج، حداکثر بزرگی کل صفحه را بپوشاند و هدف ما اندازه گیری ولتاژ نمی باشد، این ولوم را به کار می بریم.

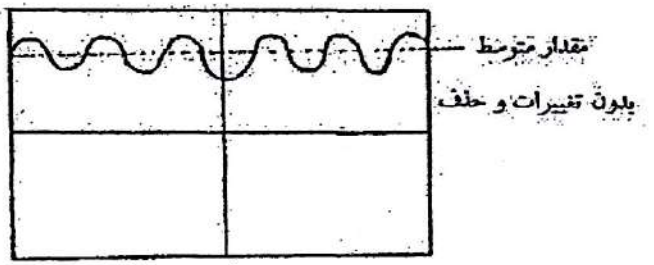
۳ـ سلکتور کوپلینگ (Coupling یا تزویج) : که دارای سه وضعیت AC ، GND و DC می باشد.

DC مخفف Direct Coupling به معنی تزویج مستقیم می باشد.

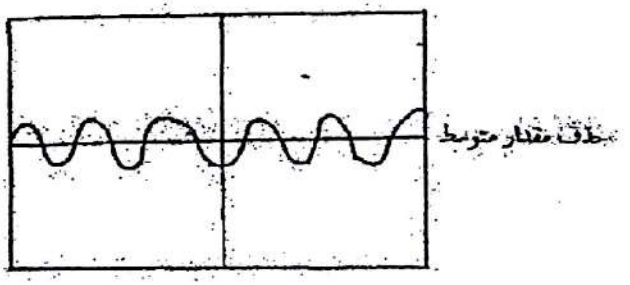
GND به معنی زمین است و در این وضعیت، ولتاژ صفر بر روی صفحه CRT نمایش داده می شود که به صورت یک خط افقی خواهد بود.

AC مخفف Alternative Coupling یا تزویج نوع دوم می باشد. در تزویج مستقیم، شکل موج بدون کم و کاست بر روی صفحه CRT نمایش داده می شود، اما در حالت AC مقدار متوسط موج از آن حذف می شود.

به عنوان مثال چنانچه شکل موج واقعی (در حالت DC) به صورت نشان داده شده در زیر باشد،



آنگاه در حالت AC به صورت زیر در می آید :



۴_ ولوم جابجایی عمودی (Position) : با این ولوم می توان شکل موج در حال نمایش بر روی اسیلوسکوپ را بالا و پایین برد.

توجه : با این کار ممکن است خط زمین هم از وسط صفحه نمایش اسیلوسکوپ جابجا شود. برای تنظیم مجدد آن، می بایست سلکتور کوپلینگ را در حالت GND قرار دهیم و پس از آن با این ولوم، خط زمین را به وسط صفحه آوریم تا معیار اندازه گیری ولتاژها صحیح باشد.

۵ـ ورودی پروب اسیلوسکوپ : این ورودی مناسب پروب اسیلوسکوپ است که پس از بستن آن به ورودی، با چرخش آن می توانیم آن را قفل کنیم.

پروب اسیلوسکوپ نیز دارای دو سیم است. یک سیم مغزی که به گیره سوسماری قرمز وصل است و دوم سیم زمین که به گیره سوسماری مشکی متصل می باشد.

توجه : گیره سوسماری مشکی یا سیم زمین به بدنه فلزی ورودی متصل می باشد.

کلیدهای کانال ۱ و ۲ مشابه یکدیگر هستند و به صورت یکسان در ورودی پانل اسیلوسکوپ قرار دارند.

سلکتور Vertical mode

این سلکتوردارای سه وضعیت ch۱ ، Add و ch۲ می باشد. اگر کلید فشاری ch۱ را فعال کنیم ، ولتاژ ورودی کانال۱ بر روی صفحه CRT نمایش داده می شود و اگر کلید فشاری ch۲ را فعال کنیم (بدون فعال کردن ch۱)، ولتاژ ورودی کانال۲ بر روی صفحه نمایش CRT به نمایش در می آید. در صورتی که هر دو کلید ch۱ و ch۲ را با هم فشار دهیم، هر دو ولتاژ ورودی به طور همزمان بر روی صفحه CRT نشان داده می شود.

اگر کلید فشاری Add را فشار دهیم، آنگاه ولتاژهای ورودی با هم جمع شده و پس از آن شکل موج حاصل، بر روی صفحه نمایش CRT نمایش داده می شود. در صورتی که بخواهیم ولتاژ ورودی کانال۱ را از ولتاژ ورودی کانال۲ کم کنیم، می توانیم ولوم جابجایی عمودی کانال۲ را بیرون بکشیم. (که در کنار آن عبارت Pull invert نوشته شده است که به معنای «بکش تا معکوس شود» می باشد)

سیگنال کالیبریشن :

برای آنکه بدانیم اسیلوسکوپ به درستی کار می کند و از لحاظ اندازه گیری ولتاژ و زمان مشکلی ندارد، یک ولتاژ مربعی با فرکانس یک کیلوهرتز و دامنه یک ولت ، در روی صفحه نمایش CRT فراهم شده است که با

حروف CAL مشخص شده است و شبیه به انتهای سوزن خیاطی می باشد. در هنگام اندازه گیری این ولتاژ، در صورتی که دامنه یک ولت و فرکانس یک کیلوهرتز خوانده شود ، حاکی از آن است که دستگاه به درستی کار می کند.

به عنوان مثال فرض کنید که سلکتور volt / div بر روی ۰/۵ ولت تنظیم شده است. آنگاه پس از مشاهده شکل موج مربعی گفته شده در بالا، برای اندازه گیری دامنه آن، به شمارش تعداد خانه های عمودی از خط زمین تا دامنه شکل موج مربعی اقدام می نماییم. با فرض اینکه دامنه این شکل موج برابر با دو خانه عمودی (نسبت به خط زمین) باشد، آنگاه داریم :

$$\text{دامنه} = V_m = ۲(\text{خانه عمودی}) * ۰/۵(volt/div) = ۱(V)$$

که برابر با مقدار مورد نظر می باشد

برای اندازه گیری فرکانس نیز ابتدا با توجه به شکل موج نشان داده شده ، تعداد خانه های افقی که تشکیل دهنده یک تناوب از شکل موج می باشند را شمارش کرده و در عدد مشخص شده توسط سلکتور time / div ضرب می کنیم. به این ترتیب مدت زمان یک تناوب از شکل موج (T) را به دست می آوریم. با فرض اینکه سلکتور time / div بر روی ۰/۵ میلی ثانیه تنظیم شده باشد و نیز یک دوره تناوب به اندازه دو خانه افقی امتداد داشته باشد، آنگاه برای به دست آوردن مقدار T به صورت زیر عمل می نماییم :

$$T = ۲(\text{خانه افقی}) * ۰/۵(msec/div) = ۱(ms)$$

که برابر با مقدار مورد نظر می باشد

سپس با استفاده از فرمول $f = \frac{1}{T}$ می توان فرکانس (f) را به صورت زیر محاسبه نمود :

$T = 1ms$

$$f = \frac{1}{0.001} = 1000\,Hz = 1\,KHz$$

که مقدار f نیز برابر مقدار مورد نظر است. بنابراین دستگاه به درستی کار می کند.

سیگنال کالیبریشن

مشخص نمودن یک دوره تناوب

واحد زمان سنجی :

کلید های مهم این قسمت عبارتند از :

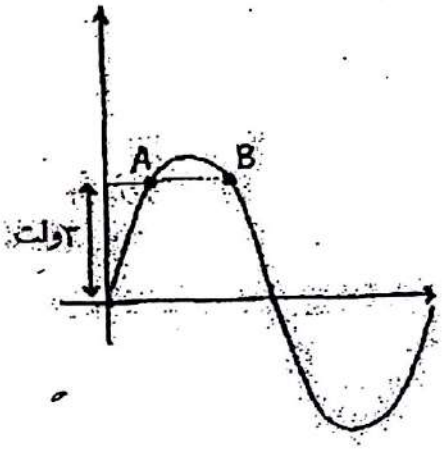
ـ سلکتور زمان سنجی (time / div) : که کاربرد آن در مثال های پیش گفته شد.

ـ ولوم کالیبریشن زمان سنجی : که در وسط یا کنار سلکتور زمان سنجی قرار دارد و چنانچه در حالت CAL باشد، اعداد سلکتور زمان سنجی (time / div) صحیح می باشد. این ولوم برای آن است که کشیدگی موج در راستای افقی به میزان مطلوب شما باشد ؛ اما در این حالت زمان سنجی صحیح نمی باشد.

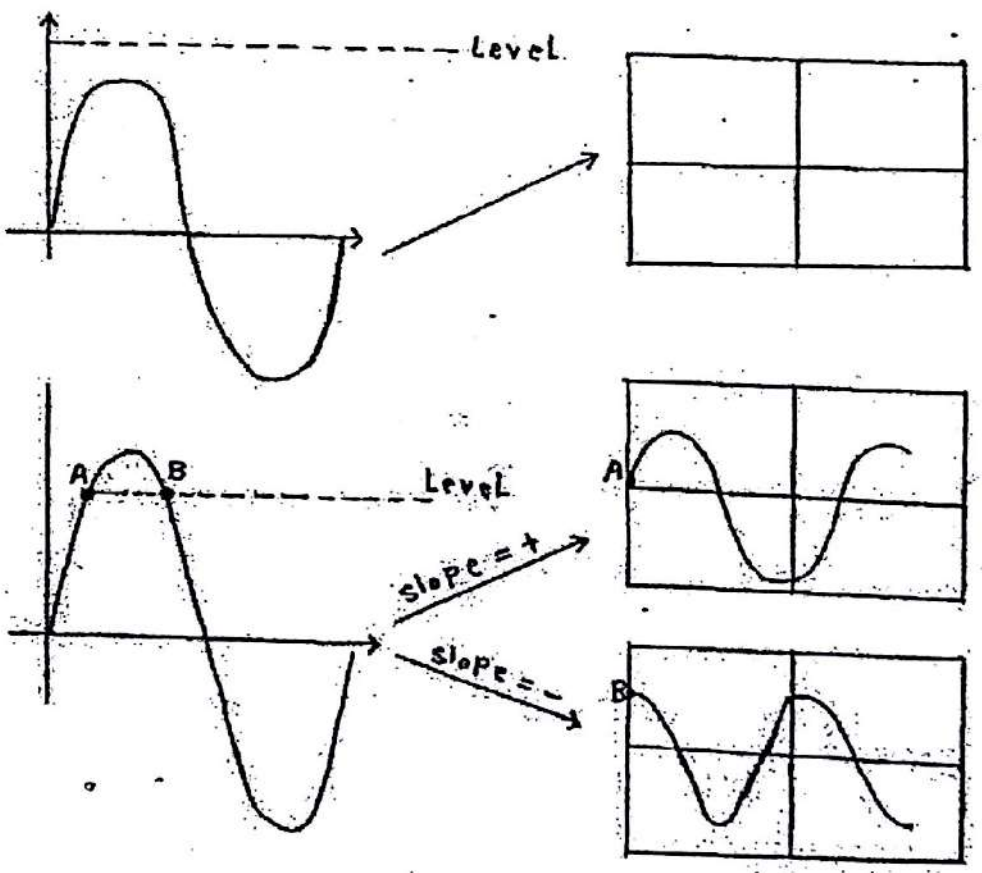
واحد تریگر :

تریگر به معنی ماشه تفنگ است اما این واژه در اسیلوسکوپ به معنای آن است که شکل موج ، از سمت چپ صفحه نمایش اسیلوسکوپ ، از کدام نقطه شروع گردد. عمل انتخاب محل شروع موج از سمت چپ صفحه نمایش اسیلوسکوپ ، به وسیله ولوم Level و کلید فشاری Slope (شیب) انجام می گیرد.

به عنوان مثال فرض کنید که شکل موج نشان داده شده در صفحه بعد را به ورودی اسیلوسکوپ داده ایم. فاصله نقطه A تا خط زمین ۳ ولت است. حال چنانچه ولوم Level را بچرخانیم تا بر روی ۳ ولت تنظیم شود، شروع موج می تواند از نقطه A یا B صورت گیرد. برای آنکه شکل موج از نقطه A شروع شود، کلید Slope را در وضعیت مثبت و برای آنکه از نقطه B آغاز گردد، این کلید را در وضعیت منفی قرار می دهیم.



چنانچه مقدار ولوم Level از دامنه سیگنال ورودی خارج باشد، اسیلوسکوپ هیچ شکل موجی را نشان نمی دهد.



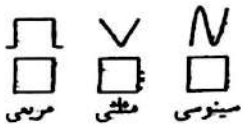
می شود. در مثال های بالا فرض بر آن است که کلید فشاری Normal را فعال کرده ایم. یک مورد استفاده از کلید فشاری Auto ، در هنگام شروع کار با اسیلوسکوپ می باشد که خط زمین را نشان می دهد.

فانکشن ژنراتور :

فانکشن ژنراتور دستگاهی است که توسط آن می توانیم شکل موج هایی مانند سینوسی ، مثلثی و مربعی را با دامنه و فرکانس مورد نظر تولید کرده و به عنوان ورودی به مدار اعمال نماییم.

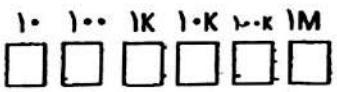
بخش های عمده فانکشن ژنراتور به صورت زیر می باشد:

۱_ کلید های فشاری انتخاب نوع موج



۲_ ولوم انتخاب فرکانس

۳_ کلیدهای فشاری ضرب کننده دهدهی



مقدار فرکانس واقعی شکل موج تولید شده به وسیله فانکشن ژنراتور، با تنظیم ولوم انتخاب فرکانس و انتخاب کلید مناسبی از مجموعه کلیدهای فشاری ضرب کننده دهدهی حاصل می گردد.

فرکانس واقعی = مقدار مشخص شده توسط ولوم انتخاب فرکانس x عدد مربوط به کلید فشاری ضرب کننده دهدهی فعال شده

به عنوان مثال اگر ولوم انتخاب فرکانس بر روی ۰/۳ تنظیم شده باشد و نیز کلید فشاری ضرب کننده دهدهی ۱M (به معنی یک مگا هرتز) انتخاب شود، آنگاه فرکانس موج حاصل برابر با ۳۰۰KHZ خواهد بود :

$f = ۰/۳ * ۱۰۰۰۰۰۰ = ۳۰۰۰۰۰ HZ = ۳۰۰ KHZ$

۴_ ولوم دامنه (AMP یا AMPLITUDE) : که برای تنظیم دامنه موج به کار می رود.

۵_ کلید ATT (Attenuate) : که از آن جهت تضعیف خروجی استفاده می شود.

OUTPUT

۶ـ خروجی (OUTPUT) : که توسط آن موج خروجی را از فانکشن ژنراتور دریافت می کنیم.

50Ω

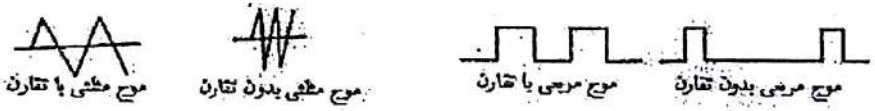
نکته : همان طور که در شکل مشاهده می گردد ، یک مقاومت ۵۰ اهمی در مسیر خروجی وجود دارد.

۷ـ ولوم CMOS : که جهت انتخاب ولتاژ high بین صفر تا ۱۵ ولت استفاده می شود.

نکته : اگر این ولوم را به سمت بیرون بکشیم، در حالت TTL قرار گرفته و جهت استفاده از ولتاژ TTL مناسب می باشد.

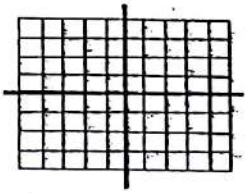
۸ـ ولوم OFFSET : که از آن جهت افزودن یا کاستن مقدار DC به/از موج استفاده می گردد.

۹ـ ولوم DUTY : که برای تغییر تقارن موج به کار می رود.



دستور کار آزمایش

شکل موج های زیر را با فانکشن ژنراتور تولید و بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ مشاهده کنید و سپس آن ها را در چارتی شبیه به آنچه در زیر دیده می شود ترسیم نموده و اعداد volt / div و time / div را در زیر آن ها درج نمایید. در هر مورد دوره تناوب را توسط اسیلوسکوپ اندازه گیری کرده و با استفاده از آن و نیز با استفاده از فرمول $f = 1 / T$ فرکانس را به دست آورید و با مقدار فرکانس فانکشن ژنراتور مقایسه نمایید.



Volt / div = ... time / div = ...

الف ـ موج سینوسی با دامنه ۳ ولت و فرکانس ۲/۵ کیلوهرتز

ب ـ موج مثلثی با دامنه ۰/۱ ولت و فرکانس ۵۰۰ کیلوهرتز

ج ـ موج مربعی با دامنه ۶ ولت و فرکانس ۳۰۰ هرتز

آزمایش شماره ۱۱

« فیلتر پایین گذر »

پاسخ فرکانسی

نسبت فیزور خروجی به فیزور ورودی را پاسخ فرکانسی می گویند.

فیزور

به هر موج سینوسی $V(t) = A \sin(\omega t + \phi)$ ، عدد مختلط $Ae^{j\phi}$ را نسبت می دهند.

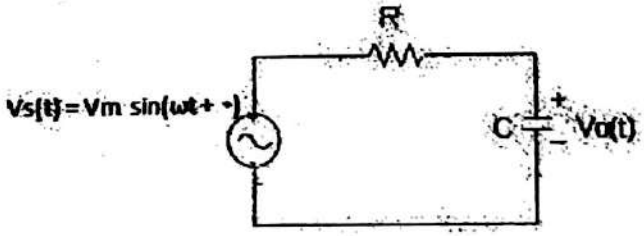
حل فیزوری

به جای منابع ، فیزور آن ها را قرار می دهند و به جای خازن ها امپدانس $1 / Cj\omega$ و به جای سلف ها امپدانس $Lj\omega$ و به جای مقاومت ها خود R قرار داده می شود.

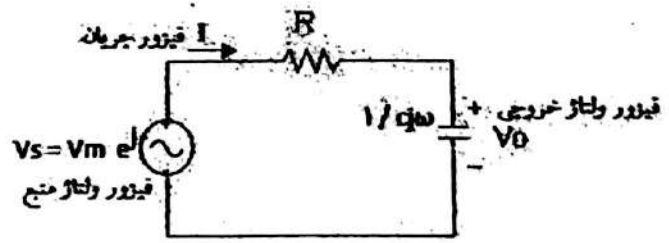
روش حل همان روش های پیشین است : روش های گره ، مش ، تونن ، نورتن ، قانون تقسیم ولتاژ ، قانون تقسیم جریان، سری/ موازی کردن المان ها و ...

فیلتر پایین گذر RC

مدار فیلتر پایین گذر به صورت نشان داده شده در زیر می باشد:



که مدار فیزوری آن نیز به شکل زیر در می آید:



در مدار اخیر روابط زیر حاکم می باشد:

$$I = \frac{Vs}{R + \frac{1}{Cj\omega}} \quad \Rightarrow \quad Vo = \frac{1}{Cj\omega} \times I = \frac{Vs}{1 + RCj\omega}$$

پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

پاسخ فرکانسی مدار فیلتر پایین گذر از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

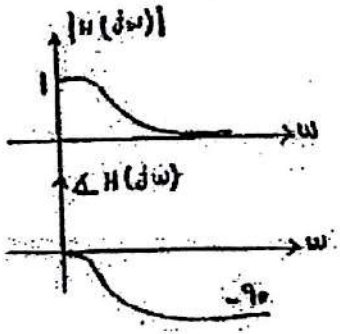
$$H(j\omega) = \frac{\text{قیزور خروجی}}{\text{قیزور ورودی}} = \frac{Vo}{Vs} = \frac{1}{1 + RCj\omega}$$

اندازه و فاز پاسخ فرکانسی این مدار، به صورت زیر قابل محاسبه هستند :

$$|H(j\omega)| = \frac{|Vo|}{|Vs|} = \frac{1}{\sqrt{1+(RC\omega)^2}}$$ اندازه

$$\measuredangle H(j\omega) = \measuredangle Vo - \measuredangle Vs = 0 - \tan^{-1}(RC\omega)$$ فاز

معمولاً پاسخ فرکانسی به صورت اندازه و فاز زیر یکدیگر رسم می شوند.



نکته : با توجه به رابطه

$$Vo \text{ دامنه} = Vs \text{ دامنه} \times \frac{1}{\sqrt{1+(RC\omega)^2}} \quad , \quad \omega = 2\pi f$$

این نتیجه حاصل می گردد که در مدار فیلتر پایین گذر، با افزایش فرکانس ، دامنه خروجی کم شده ؛ پس فرکانس های بالا را تضعیف می کند. در فرکانس های کم ($\omega \approx 0$) دامنه خروجی و ورودی برابر می باشند و به عبارتی مدار ، فرکانس های پایین را عبور می دهد که به همین سبب به این مدار، فیلتر پایین گذر گفته می شود.

نکته : با توجه به رابطه

$$\angle H(j\omega) = \angle Vo - \angle Vs = 0 - \tan^{-1}(RC\omega)$$

درمی یابیم که با افزایش فرکانس ، اختلاف فاز بین ورودی و خروجی به ۹۰ - درجه می رسد. علامت منفی بدان معنی است که خروجی از ورودی عقب تر می باشد.

فرکانس قطع (3dB)

فرکانسی که در آن بهره فیلتر به $0/V$ مقدار بهره ماکزیمم می رسد را فرکانس قطع فیلتر می گویند.
در فیلتر های پایین گذر RC ،مقدار فرکانس قطع به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$f_3dB = \frac{1}{2\pi RC}$$

خواندن ظرفیت خازن ها

در خازن های با حجم زیاد، مقدار ظرفیت به طور مستقیم بر روی آن ها نوشته می شود. به عنوان مثال ۱۰μF

اما در خازن های کوچک، به علت کمی فضا، یک عدد سه رقمی بر روی آن ها نوشته می شود که رقم سوم معرف تعداد صفر در مقابل دو رقم اول بوده و مقدار ظرفیت بر حسب پیکوفاراد (pF) می باشد. به عنوان مثال اگر بر روی یک خازن ارقام ۱۰۳ درج شده باشد، آنگاه خواهیم داشت:

۱۰۳ = ۱۰۰۰۰ pF = ۱۰ nF = ۰/۰۱ μF

واحد های ظرفیت خازنی به صورت زیر می باشند : –

میلی فاراد : $1\,mF = 0/001\,F$

میکروفاراد : $1\,\mu F = 10^{-6}F = 0/001\,mF = 2000\,nF = 1000000\,pF$

نانو فاراد : $1\,nF = 10^{-9}F = 10^{-6}\,mF = 10^{-3}\,\mu F = 1000\,pF$

پیکو فاراد : $1\,pF = 10^{-12}F = 10^{-9}\,mF = 10^{-6}\,\mu F = 10^{-3}\,nF$

هزار — برابر — کوچک

هزار — برابر — بزرگ

به عنوان مثال ، اگر بر روی یک خازن ارقام ۲۲۴ درج شده باشد، آنگاه خواهیم داشت:

$224 = 220000\,pF = 220\,nF = 0/22\,\mu F$

دستور کار آزمایش

با استفاده از یک مقاومت $R = 10\,k\Omega$ و یک خازن $C = 100\,nF$ مدار فیلتر پایین گذر را بسته و جدول نشان داده شده در زیر را برای آن کامل نمایید.

f(HZ)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰
Vo (دامنه خروجی) اندازه گیری شده						
Vo (دامنه خروجی) محاسبه شده						
اختلاف فاز اندازه گیری شده						
اختلاف فاز محاسبه شده						

پس از تکمیل جدول بالا فرکانس قطع این مدار را نیز به صورت تئوری (با استفاده از فرمول گفته شده در درس) و عملی به دست آورده و با یکدیگر مقایسه نمایید. برای روش عملی، اندازه $|H|_{max}$ (ماکزیمم دامنه خروجی) را به دست آورده (از روی اسیلوسکوپ) و بررسی کنید که در کدام فرکانس ها اندازه $|H|$ به $0/707$ مقدار max می رسد. (یعنی در چه فرکانس هایی دامنه خروجی به $0/707$ مقدار حداکثر خود می رسد)

راهنمایی : برای محاسبه دامنه خروجی و اختلاف فاز ، از روابط گفته شده در درس استفاده نمایید. اندازه گیری دامنه خروجی نیز به وسیله اسیلوسکوپ مقدور می باشد. برای اندازه گیری اختلاف فاز هم می توان از رابطه زیر استفاده نمود :

تعداد خانه افقی تشکیل دهنده یک دوره تناوب / ۳۶۰ ° = فاصله موج ورودی از موج خروجی بر حسب تعداد خانه افقی = φ

آزمایش شماره ۱۲

« فیلتر بالا گذر »

مدار فیلتر بالا گذر RC و مدار فیزوری آن به صورت نشان داده شده در زیر می باشد:

در مدار فیزوری بالا روابط زیر حاکم می باشد:

$$I = \frac{Vs}{R + \frac{1}{Cj\omega}} \quad \Rightarrow \quad Vo = R \times I = Vs \times \frac{R}{R + \frac{1}{Cj\omega}} = Vs \times \frac{RCj\omega}{1 + RCj\omega}$$

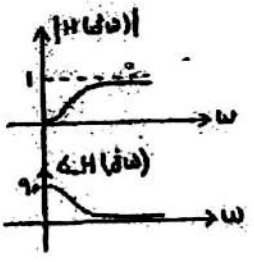
در نتیجه پاسخ فرکانسی مدار فیلتر بالا گذر از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$H(j\omega) = \frac{\text{فیزور خروجی}}{\text{فیزور ورودی}} = \frac{Vo}{Vs} = \frac{RCj\omega}{1 + RCj\omega}$$

اندازه و فاز پاسخ فرکانسی این مدار، به صورت زیر قابل محاسبه هستند :

$$|H(j\omega)| = \frac{|Vo|}{|Vs|} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}$$

$$\angle H(j\omega) = \angle Vo - \angle Vs = 90 - \tan^{-1}(RC\omega)$$



همان طور که در شکل نشان داده شده در پایین صفحه قبل مشاهده می گردد، مدار فیلتر بالا گذر، فرکانس های پایین را تضعیف کرده و فرکانس های بالا را عبور می دهد. به همین سبب به این مدار، فیلتر بالا گذر گفته می شود.

در فیلتر های بالا گذر RC ، مقدار فرکانس قطع، همانند فیلتر پایین گذر RC و با رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi RC}$$

دستور کار آزمایش

با استفاده از یک مقاومت $R = ۱۰\ k\Omega$ و یک خازن $C = ۱۰۰\ n_F$ مدار فیلتر بالا گذر را بسته و جدول نشان داده شده در زیر را برای آن کامل نمایید.

f(HZ)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰
Vo (دامنه خروجی) اندازه گیری شده						
Vo (دامنه خروجی) محاسبه شده						
اختلاف فاز اندازه گیری شده						
اختلاف فاز محاسبه شده						

پس از تکمیل جدول بالا فرکانس قطع این مدار را نیز به صورت تئوری (با استفاده از فرمول گفته شده در درس) و عملی به دست آورده و با یکدیگر مقایسه نمایید. برای روش عملی، اندازه $|H|_{max}$ (ماکزیمم دامنه خروجی) را به دست آورده (از روی اسیلوسکوپ) و بررسی کنید که در کدام فرکانس ها اندازه $|H|$ به $۰/۷$ مقدار max می رسد. (یعنی در چه فرکانس هایی دامنه خروجی به $۰/۷$ مقدار حداکثر خود می رسد)

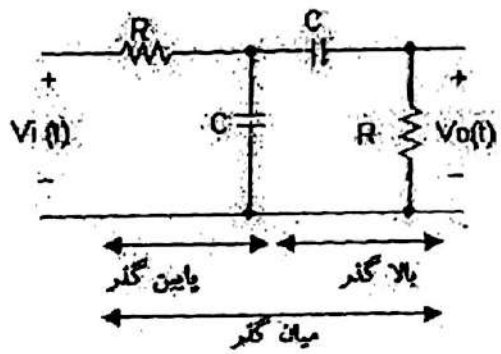
راهنمایی : برای محاسبه دامنه خروجی و اختلاف فاز ، از روابط گفته شده در درس استفاده نمایید. اندازه گیری دامنه خروجی نیز به وسیله اسیلوسکوپ مقدور می باشد. برای اندازه گیری اختلاف فاز هم می توان از رابطه زیر استفاده نمود :

$\Delta\varphi$ = فاصله موج ورودی از موج خروجی بر حسب تعداد خانه افقی / تعداد خانه افقی تشکیل دهنده یک دوره تناوب $\times ۳۶۰^\circ$

آزمایش شماره ۱۳

« فیلتر میان گذر »

یک نمونه ساده از مدار فیلتر میان گذر که از سری کردن یک فیلتر پایین گذر RC با یک فیلتر بالا گذر RC حاصل می گردد، در زیر نشان داده شده است :



پاسخ فرکانسی این مدار فیلتر میان گذر از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

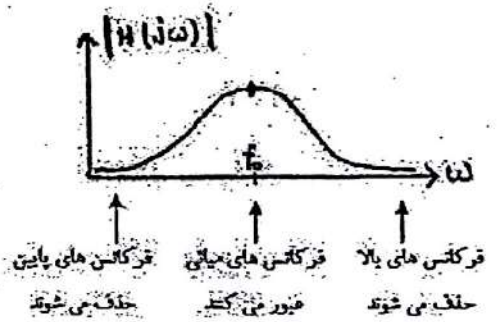
$$H(j\omega) = \frac{\text{فیزور خروجی}}{\text{فیزور ورودی}} = \frac{Vo}{Vi} = \frac{RCj\omega}{1-(RC\omega)^2+3RCj\omega}$$

اندازه و فاز پاسخ فرکانسی این مدار، به صورت زیر قابل محاسبه هستند :

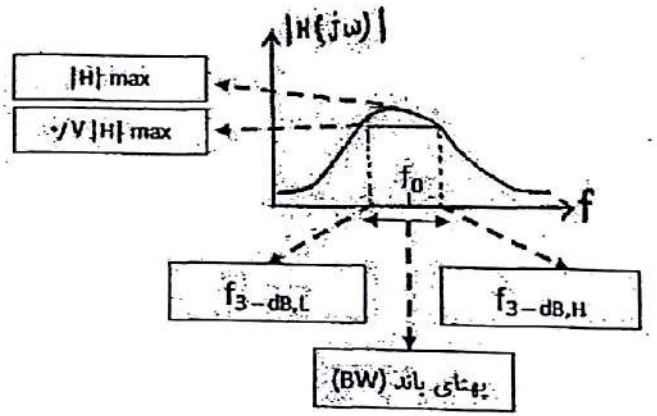
$$|H(j\omega)| = \frac{|Vo|}{|Vi|} = \frac{RC\omega}{\sqrt{(1-(RC\omega)^2)^2+9R^2C^2\omega^2}}$$

$$\angle H(j\omega) = \angle Vo - \angle Vi = 90 - \tan^{-1}\left(\frac{3RC\omega}{1-(RC\omega)^2}\right)$$

همان طور که در شکل صفحه بعد مشاهده می شود ، مدار فیلتر میان گذر، فرکانس های پایین و بالا را حذف کرده و فرکانس های میانی را عبور می دهد.



در فیلترهای میان گذر دو فرکانس قطع 3dB وجود دارد (فرکانس قطع بالا یا Low و فرکانس قطع پایین یا High) که این موضوع در شکل زیر مشاهده می گردد. در فیلتر میان گذر، فرکانسی تحت عنوان فرکانس میانی (f_0) وجود دارد که آن نیز در شکل زیر دیده می شود. فرکانس میانی فرکانسی است که در آن دامنه ولتاژ خروجی به ماکزیمم مقدار خود می رسد.



محاسبه فرکانس میانی و فرکانس های قطع بالا و پایین از روابط زیر امکان پذیر می باشد:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\text{فرکانس قطع بالا} = (3+\frac{1}{3})f_0 \quad \text{و} \quad \text{فرکانس قطع پایین} = \frac{1}{3}f_0$$

$$\text{پهنای باند (BW)} = \text{فرکانس قطع بالا} - \text{فرکانس قطع پایین}$$

دستور کار آزمایش

با استفاده از دو مقاومت $R = ۱۰\ k\Omega$ و دو خازن $C = ۱۰۰\ n_F$ مدار فیلتر میان گذر را بسته و جدول نشان داده شده در زیر را برای آن کامل نمایید.

f(HZ)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰
Vo (دامنه خروجی) اندازه گیری شده						
Vo (دامنه خروجی) محاسبه شده						
اختلاف فاز اندازه گیری شده						
اختلاف فاز محاسبه شده						

پس از تکمیل جدول بالا فرکانس های میانی ، قطع پایین و قطع بالای این مدار را نیز به صورت تئوری (با استفاده از فرمول های گفته شده در درس) و عملی به دست آورده و با یکدیگر مقایسه نمایید. برای روش عملی، اندازه $|H|max$ (ماکزیمم دامنه خروجی) را به دست آورده (از روی اسیلوسکوپ) و بررسی کنید که در کدام فرکانس ها اندازه $|H|$ به $۰/۷$ مقدار max می رسد. (یعنی در چه فرکانس هایی دامنه خروجی به $۰/۷$ مقدار حداکثر خود می رسد)

راهنمایی : برای محاسبه دامنه خروجی و اختلاف فاز ، از روابط گفته شده در درس استفاده نمایید. اندازه گیری دامنه خروجی نیز به وسیله اسیلوسکوپ مقدور می باشد. برای اندازه گیری اختلاف فاز هم می توان از رابطه زیر استفاده نمود :

$\Delta\varphi$ = فاصله موج ورودی از موج خروجی بر حسب تعداد خانه افقی / تعداد خانه افقی تشکیل دهنده یک دوره تناوب $\times ۳۶۰$