

## آزمایش شماره ۱

### بررسی قوانین کیرشهف

#### یادآوری

هدف از این آزمایش بررسی قوانین فوق بصورت عملی می باشد.

#### ۱-۱) قانون اهم :

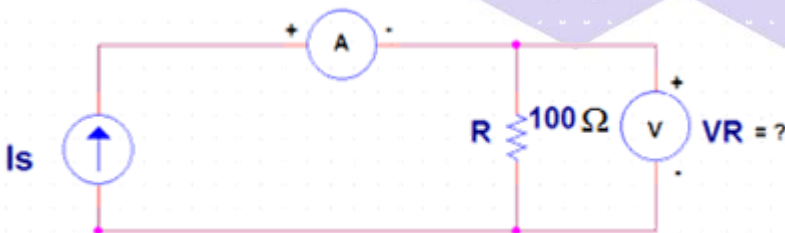
ولتاژ باعث جاری شدن جریان الکتریکی در مدار بسته می شود و مقاومت، با عبور جریان مخالفت می کند. بین ولتاژ، جریان و مقاومت رابطه وجود دارد. اگر مقدار مقاومت مداری ثابت نگه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان آن زیاد می شود و همینطور بالعکس.

قانون اهم  $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow R = \frac{V}{I}$

#### شرح آزمایش

مدار زیر (مدار تقسیم کننده جریان) را ببندید و سپس با تغییر  $I_S$  جدول زیر را کامل نمایید.

(توجه: در این مدار از منبع جریان ۵۰ میلی آمپری استفاده نمایید. برای تنظیم جریان از آمپر متر آنالوگ و برای خواندن مقدار ولتاژ از ولت متر دیجیتالی و آنالوگ روی کیت استفاده نمایید.)



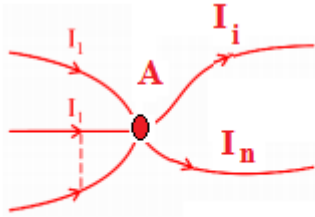
| $I_A (mA)$    | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---------------|----|----|----|----|----|
| $V_R (V) = ?$ |    |    |    |    |    |

#### سؤال

نتیجه این آزمایش را توضیح دهید؟

## ۱-۲ قانون جریان یا KCL :

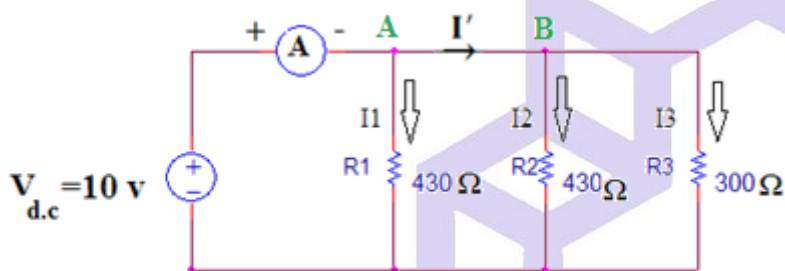
جمع جبری جریانها در هر گره از مدار برابر صفر است.



$$\text{KCL(A گره)} \quad \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

شرح آزمایش

مدار را طبق شکل زیر را روی برد آزمایشگاه ببندید (بررسی شدت جریان شاخه های موازی). سپس جدول را کامل نمایید. (توجه: منبع ولتاژ در این آزمایش، منبع ولتاژ ایده آل می باشد).



| $I_A$<br>(mA) | $I_1$ (mA) | $I'$ (mA) | $I_2$ (mA) | $I_3$ (mA) |
|---------------|------------|-----------|------------|------------|
|               |            |           |            |            |

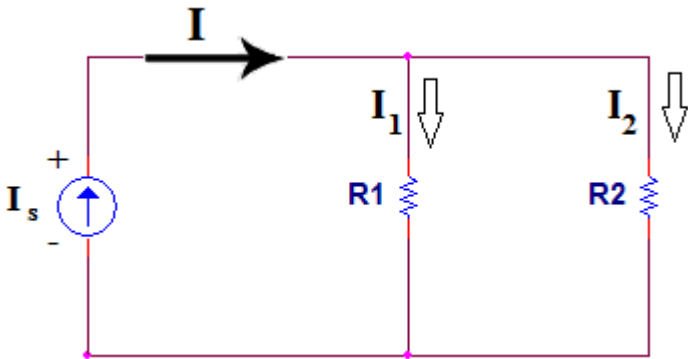
سؤال

۱) چه رابطه ای بین جریان های ورودی و خروجی هریک از گره های A و B وجود دارد؟ (قانون جریان را تحقیق کنید).

۲) چه مقدار مقاومتی را ( $R_4$ ) می توان به جای مجموع مقاومت های مدار ( $R_1, R_2, R_3$ ) جایگزین کرد تا جریان کل یعنی  $I_A$  بدون تغییر بماند؟

## ۳-۱) مقسم جریان:

در صورتیکه به مقدار کمتری از جریان یک منبع نیاز داشته باشیم، از مدار مقسم جریان استفاده می کنیم. در این صورت:



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I$$

شرح آزمایش

مدار مقسم جریان فوق را با منبع جریان 50mA ببندید و با تغییر مقاومت  $R_2$  جدول زیر را کامل نمایید.

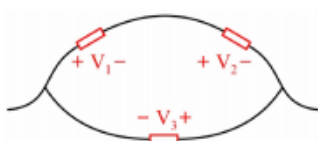
|   | $R_1$ | $R_2$ | $I(mA)$ | $I_1(mA)$ | $I_2(mA)$ |
|---|-------|-------|---------|-----------|-----------|
| a | 200Ω  | 1000Ω |         |           |           |
| b | 200Ω  | 300Ω  |         |           |           |
| c | 200Ω  | 200Ω  |         |           |           |
| d | 200Ω  | 100Ω  |         |           |           |

## سؤال

رابطه بین جریانهای  $I_1$  و  $I_2$  با مقاومتهای  $R_1$  و  $R_2$  از لحاظ تئوری و عملی بدست آورده و سپس نتایج را با یکدیگر مقایسه کنید.

## ۴-۱) قانون ولتاژ یا KVL :

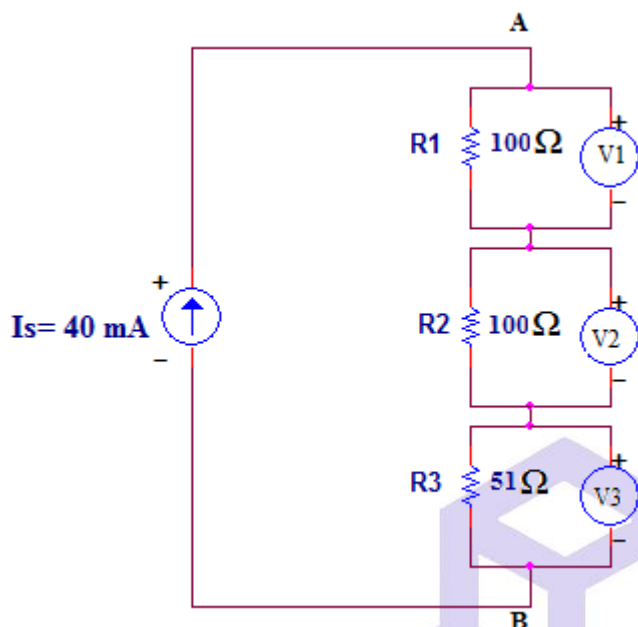
جمع جبری ولتاژهای عناصر در هر مسیر بسته صفر است.



$$\sum_i^n V_i = 0 \quad \text{قانون ولتاژ KVL}$$

## شرح آزمایش

مدار را طبق شکل زیر را روی برد آزمایشگاه ببندید و سپس ولتاژ هریک از مقاومتها را در جدول داده شده، بنویسید.

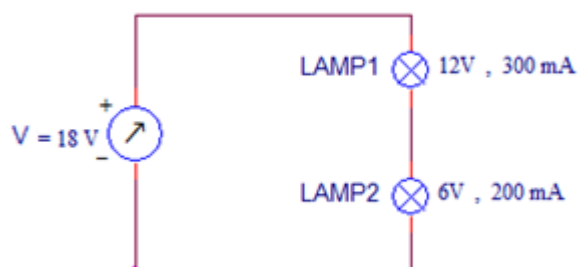


| $V_1(V)$ | $V_2(V)$ | $V_3(V)$ | $V_{AB}(V)$ |
|----------|----------|----------|-------------|
|          |          |          |             |

### سؤال

(۱) چه رابطه ای بین ولتاژ هریک از مقاومتهای  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  و ولتاژ کل دوسر آنها یعنی  $V_{AB}$  دیده می شود؟ با ذکر فرمول و دلیل بنویسید.

(۲) در مدار شکل زیر از دو عدد لامپ با ولتاژها و جریانهای متفاوت استفاده شده است. آیا برای هر لامپ جریان مورد نیازشان فراهم می شود؟ چه تغییری را در مدار پیشنهاد می دهید؟



## آزمایش شماره ۲

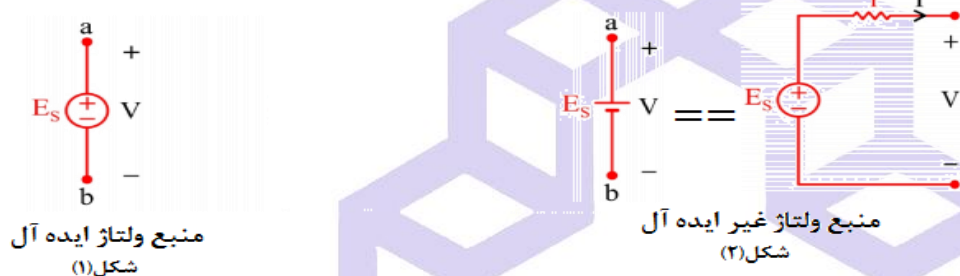
### بررسی قضیه های مدارهای الکتریکی

#### یادآوری

برای تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی، از روش ها و قضایای اثبات شده، می توان استفاده نمود. برخی از این روش ها عبارت اند از : معادل سازی تونن و نورتن مدار، اصل جمع آثار، پتانسیل گره و نیز جریان های حلقه.

#### ۲-۱) معادل سازی تونن و نورتن:

همانطور که می دانید اگر مدار را به صورت یک منبع ولتاژ واقعی (غیر ایده آل) معادل سازی کنیم، مدار را معادل تونن گویند و اگر به صورت منبع جریان واقعی معادل سازی کنیم آن را معادل نورتن مدار گویند. همانطور که می دانیم:

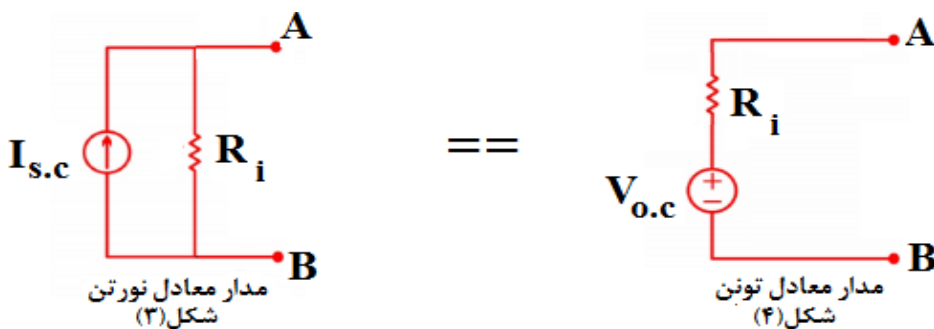


برای بدست آوردن معادل تونن یا نورتن مدار، ابتدا قسمتی از مدار که بین دو نقطه A و B قرار گرفته اند را از سایر قسمت های مدار جدا کرده و سپس ولتاژ حالت باز ( $V_{o.c}$ ) و جریان اتصال کوتاه ( $I_{s.c}$ ) مدار را محاسبه کرده و مقاومت داخلی را از تقسیم دو رابطه فوق بدست می آید:

$$R_i = \frac{V_{o.c}}{I_{s.c}}$$

(مقاومت داخلی را می توان از صفر کردن منابع داخلی مدار مورد نظر نیز حساب کرد). حال با داشتن مقادیر فوق، مدار

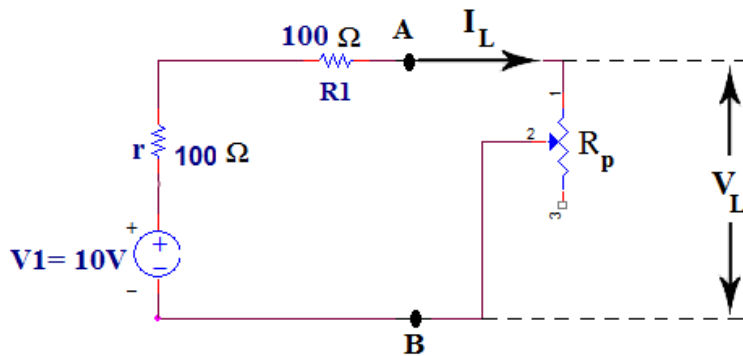
معادل تونن و نورتن آن قسمت از مدار مورد نظر دو نقطه A و B به ترتیب زیر بدست می آید:



(توجه شود تمامی مراحل، مقاومت متغیر یعنی  $R_p = 1K\Omega$  می باشد)

## شرح آزمایش

**الف) مدار تونن:** ابتدا مدار شکل زیر را با منبع ولتاژ غیر ایده آل ببندید و نتایج را در جدول مربوطه یادداشت نمایید.



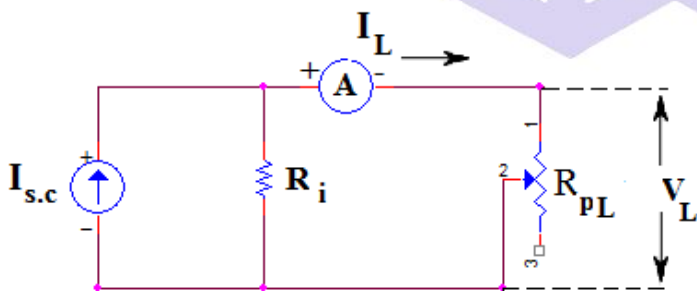
|            |                 |    |    |    |    |               |
|------------|-----------------|----|----|----|----|---------------|
| $I_L (mA)$ | 0               | 10 | 20 | 30 | 40 | $I_{S.C} = ?$ |
| $V_L (V)$  | $V_{O.C} = 10V$ |    |    |    |    | ?             |

سؤال

(۱) منحنی تغییرات ولتاژ  $V_L$  را بر حسب  $I$  رسم نمایید.

(۲) با توجه به جدول فوق و مقادیر  $V_{O.C}$  و  $I_{S.C}$ ، مقاومت داخلی ( $R_i$ ) را بدست آورید.

**ب) مدار نورتن:** آزمایش قبل را با منبع جریان  $I_{S.C}$  و مقاومت داخلی  $R_i$  انجام دهید و نتایج بدست را در جدول بنویسید.



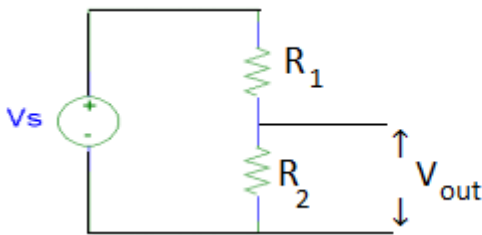
|            |                 |    |    |    |    |               |
|------------|-----------------|----|----|----|----|---------------|
| $I_L (mA)$ | 0               | 10 | 20 | 30 | 40 | $I_{S.C} = ?$ |
| $V_L (V)$  | $V_{O.C} = 10V$ |    |    |    |    | ?             |

سؤال

هنگام مقایسه قسمت‌های الف و ب ، صحت قوانین تونن و نورتن را تحقیق کنید.

**۲-۲) مدار مقسم ولتاژ :**

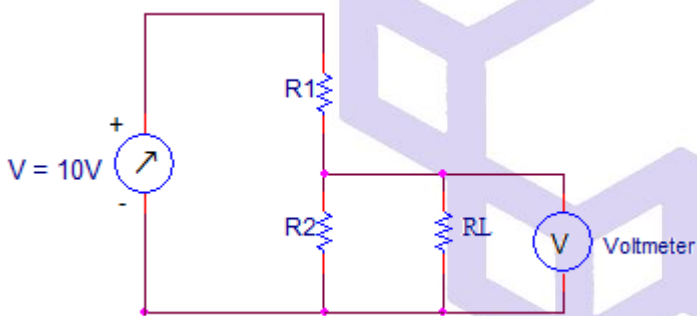
مدار تقسیم کننده ولتاژ از ترکیب یک منبع ولتاژ و مقاومت‌های سری تشکیل شده است . برای بدست آوردن رابطه تقسیم ولتاژ، ابتدا جریان مدار محاسبه و سپس ولتاژ هر یک از مقاومتها بدست می آید.



$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_s$$

شرح آزمایش

مدار تقسیم ولتاژ زیر را روی برد بسته و با استفاده از کیت مخصوص مقادیر خواسته شده در جدول را بدست آورید.



| $R_L$                                 | $a) 300\Omega$ | $b) 600\Omega$ |
|---------------------------------------|----------------|----------------|
|                                       | $V_L = ?$      | $V_L = ?$      |
| 1) $R_1 = 200\Omega, R_2 = 400\Omega$ |                |                |
| 2) $R_1 = 100\Omega, R_2 = 200\Omega$ |                |                |

## سؤال

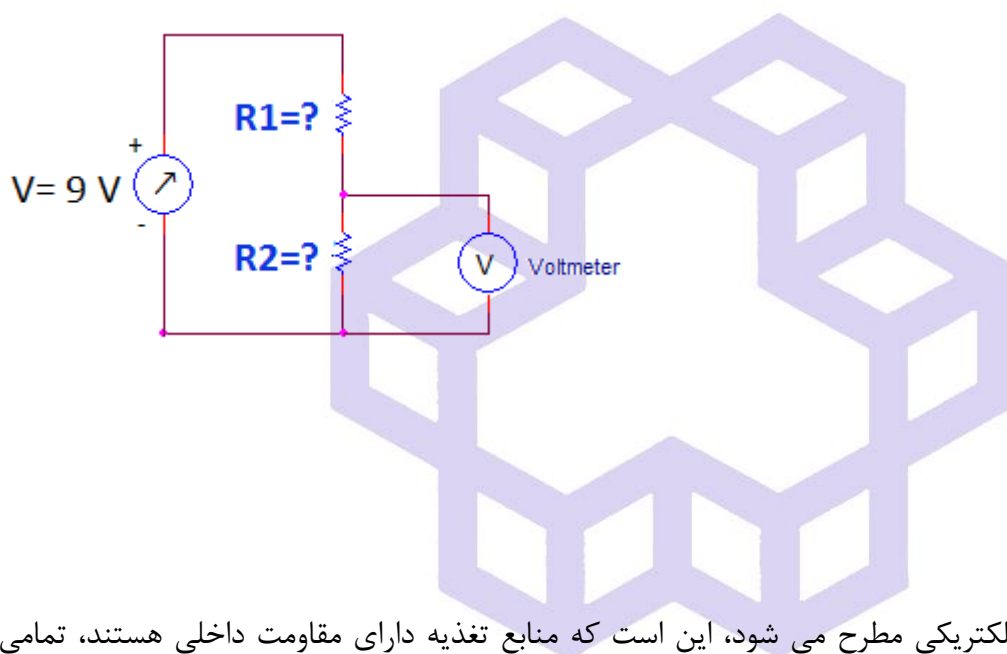
(۱) تغییرات ولتاژ خروجی در کدام حالت a یا b بیشتر است؟ با ذکر دلیل.

(۲) با توجه به جدول بالا در هر دو حالت ۱ و ۲ مقدار  $R_2 = 2 \times R_1$  می باشد. در صورتی که  $R_L = \infty$  باشد، چه

رابطه ای بین تغییرات ولتاژ خروجی و جریان در حالت بی باری است؟

(۳) در مدار شکل زیر مقادیر مقاومتها را بگونه ای بدست آورید که ولتاژ دوسر  $R_2$  در حالت بی باری  $6V$  باشد و زمانی که

بار یعنی  $R_L$  به مدار وصل می شود،  $V_L$  بیشتر از ۱۰٪ افت نکند.



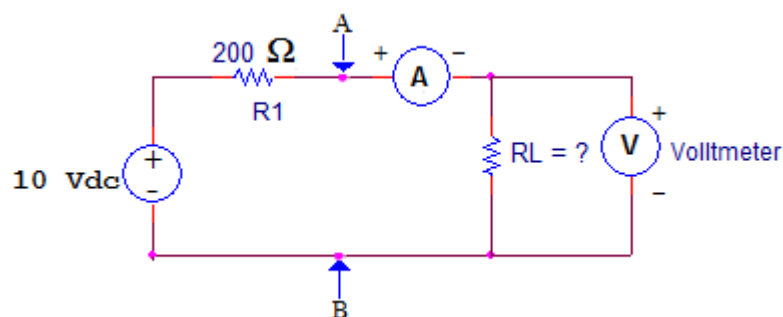
## ۲-۳) انتقال حداکثر توان:

یکی از مسائلی که در مدارهای الکتریکی مطرح می شود، این است که منابع تغذیه دارای مقاومت داخلی هستند، تمامی توانی را که به مدار تحویل می دهند به بار نمی رسد. انتقال ماکزیمم توان ممکن به بار را تطابق می گویند. زمانی ماکزیمم بار به مصرف کننده منتقل می شود که مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع تغذیه برابر باشد.

$$P_{Lmax} = R_L \times I_L^2 \quad \text{Or} \quad P_{Lmax} = \frac{V_L^2}{R_L}$$

شرح آزمایش

مدار شکل صفحه بعدی را در صورتیکه ولتاژ بین دو نقطه A و B در حالت مدار باز (O.C) برابر ۱۰ ولت است و منبع ولتاژ مورد استفاده ایده آل می باشد بسته و نتایج خواسته شده را در جدول بنویسید.



| $R_L(\Omega)$ | 51 | 100 | 151 | 200 | 300 | 600 | 1000 | 2000 |
|---------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| $V_L(V)$      |    |     |     |     |     |     |      |      |
| $I_L(mA)$     |    |     |     |     |     |     |      |      |
| $P_L(W)$      |    |     |     |     |     |     |      |      |

## سؤال

(۱) مشخصه انتقالی توان خروجی ( $P_L$ ) بر حسب  $R_L$  را رسم کنید.

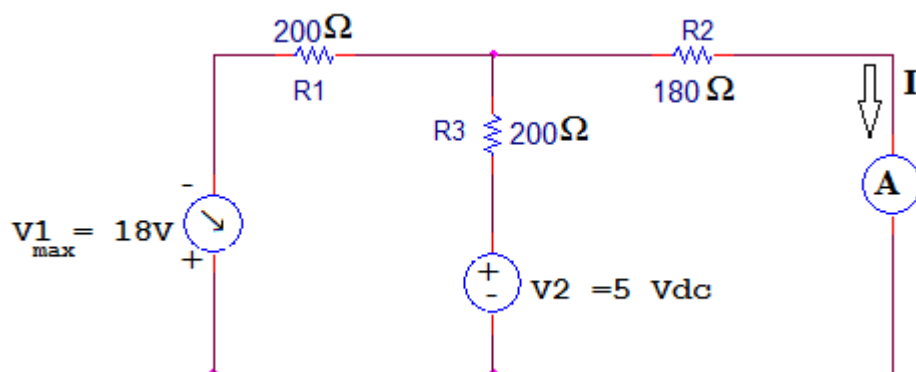
(۲) رابطه حداکثر توان را ثابت کنید؟

## ۴-۲) اصل جمع آثار:

در مدارهای الکتریکی خطی که چند منبع تغذیه (AC , DC) دارند، هر یک از منابع در مدار جریانی ایجاد می کند و جریان هر عنصر در مدار از جمع جریان هایی که هر منبع در آن عنصر ایجاد می کند به دست می آید. به عبارت دیگر، جریان عناصر مدار از مجموع آثار تک تک منابع در مدار حاصل می شود. جمع آثار در مورد ولتاژ دو سر هر عضو نیز صادق است ولی در مورد کمیت هایی که با مجذور جریان یا ولتاژ متناسب هستند صدق نمی کند. تذکر: در صورت افت و اتاژهای DC و AC با فرکانسهای مختلف در دوسر یک عنصر و یا عبور جریان DC و AC با فرکانسهای مختلف از یک شاخه، ولتاژ یا جریان دوسر آن عنصر و یا شاخه از محاسبه مقدار Effective حاصل از مجموع ولتاژ یا جریانهها بدست می آید. (این مقدار فقط توسط دستگاههای اندازه گیری Effective سنج قابل اندازه گیری است.

## شرح آزمایش

مدار شکل زیر را که ترکیبی از دو منبع ولتاژ (۱) ایده آل (۲) غیر ایده آل می باشد ببینید. سپس جدول مربوط به آنرا کامل نمایید.



(نکته: در این آزمایش، اگر عقربه آمپرتر آنالوگ به سمت منفی یعنی قبل از صفر منحرف شد، بر روی این مولتی متر کلید

$-AC / DC \rightarrow$  به  $+AC / DC$  تغییر دهید. همچنین در جدول زیر جهت مثبت و منفی جریان را مراعات کنید.)

(a) هر دو منبع  $V_1$  و  $V_2$  در مدار هستند.

(b) منبع  $V_1$  را از مدار خارج کنید.

(c) منبع  $V_2$  را از مدار خارج کنید.

|   | $V_1(V)$ | $V_2(V)$ | $I(mA)$ | $I_{V_1}(mA)$ | $I_{V_2}(mA)$ |
|---|----------|----------|---------|---------------|---------------|
| a | Max=18v  | 5V       |         | _____         | _____         |
| b | 0        | 5V       | _____   | _____         |               |
| c | Max=18v  | 0        | _____   |               | _____         |

### سؤال

(۱) در هر سه حالت روابط جریان را نوشته و اصل جمع آثار را بررسی کنید.

(۲) آیا می توان گفت در این مدار جریان کل  $I = I_1 + I_2$  می باشد؟

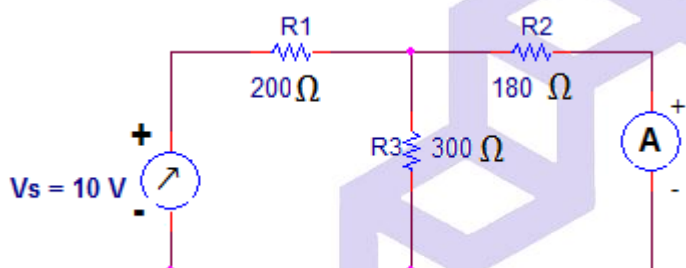
## ۵-۲) قضیه هم پاسخی:

اگر یک منبع ولتاژ به دو نقطه اول در یک مدار Linear Passive (مدار Passive، مداريست که در آن هیچ منبعی وجود نداشته باشد) وصل شود، باعث عبور جریانی بین دو نقطه دوم از مدار می شود. حال اگر همان منبع ولتاژ را بین دو نقطه دوم قرار دهیم، همان جریان قبلی بین دو نقطه اول مدار برقرار خواهد شد.

به مقاومت  $\frac{V}{I}$  که در هر دو طرف با هم برابر است، مقاومت انتقالی (Transfer Resistance) گویند که مستقل از ولتاژ منبع است.

شرح آزمایش

الف) مدار شکل زیر را بسته و جریان خواسته شده را بدست آورید.



| $V_S(V)$ | $I_1(mA)$ |
|----------|-----------|
| 10       |           |

ب) جای منبع ولتاژ و آمپرتر را در مدار عوض کنید و دوباره جریان بدست آمده را بنویسید.

| $V_S(V)$ | $I_2(mA)$ |
|----------|-----------|
| 10       |           |

سؤال

۱) مقاومت انتقالی مدار فوق را در هر دو حالت حساب کنید.

۲) با مقایسه جریانهای بدست آمده در هر دو جدول، قضیه هم پاسخی را با نوشتن روابط تئوری تحقیق کنید. (یعنی

محاسبه  $I_{s.c}$  از هر دو طرف.)

## آزمایش شماره ۳

## بررسی رفتار خازن در مدارهای D.C

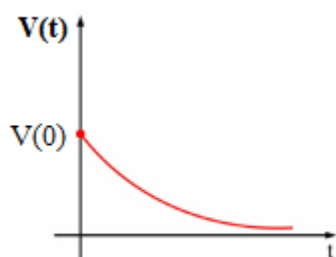
## یادآوری

وقتی یک خازن به منبع ولتاژ جریان مستقیم وصل می شود، ابتدا جریان نسبتاً بزرگی در مدار جریان می یابد و خازن رفته رفته شارژ می شود تا ولتاژ دو سر آن به اندازه ولتاژ منبع برسد. در همین حالت، جریان مدار هم بتدریج کوچک می شود تا وقتی که خازن کاملاً شارژ شود و جریان مدار به صفر می رسد. پس از این فرآیند که حدود ۵ ثابت زمانی طول می کشد، خازن در مدار مانند یک کلید باز عمل می کند. وقتی ۵ ثابت زمانی سپری می شود، در اصطلاح می گویند مدار به حالت پایدار یا ماندگار خود رسیده است. ثابت زمانی فقط مختص مدارهای مرتبه اول است و بطوری که هر مدار پس از مدت زمانی در حدود ۴ الی ۵ برابر آن به مقدار دائمی یا ماندگار خود میرسد و برابر است با :

$$\tau(s) = \begin{cases} R_{eq}^{\Omega} \times C^F & \Rightarrow \Rightarrow \text{برای مدار R.C} \\ L^H / R_{eq}^{\Omega} & \Rightarrow \Rightarrow \text{برای مدار R.L} \end{cases}$$

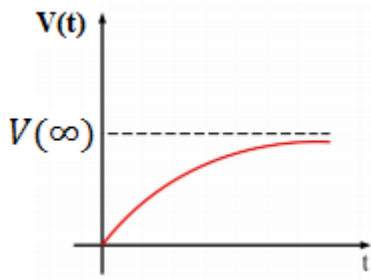
پس در مدارهای جریان مستقیم و در حالت ماندگار، خازن به صورت یک کلید باز عمل می کند. در حالی که به اندازه ولتاژ اعمال شده به دو سر آن، شارژ شده است. ( $R_{eq}$  مقاومت معادل دیده شده از دو سر خازن یا سلف است و از این به بعد به زمانهای بزرگتر از  $5\tau$  می گوییم بینهایت! البته بینهایت فیزیکی؛ یعنی ممکن است این بینهایت کمتر از میلی ثانیه هم باشد.) درضمن هر پاسخی در مدارهای مرتبه اول به صورت نمایی است و برای انواع پاسخ ها:

a) ولتاژ اولیه خازن (یعنی  $t=0$ ) را  $V(0)$  در نظر بگیریم و در این زمان خازن با یک مقاومت  $R$  بسته می شود:



$$V(t) = V(0) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

(b) ولتاژ لحظه ایی خازن، در صورتیکه خازن توسط یک مقاومت R به منبع ولتاژ ( $V_{Source}$ ) وصل شود:

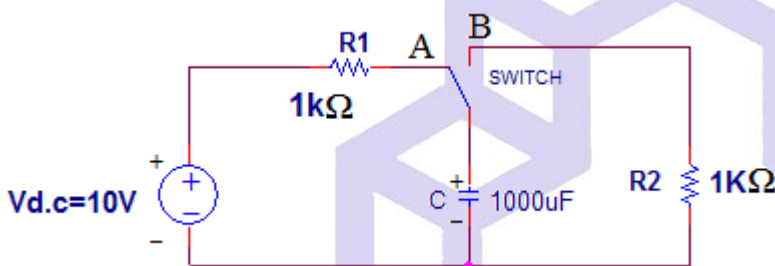


$$V(t) = V(\infty) \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

## شرح آزمایش

### ۳-۱) مشاهده شارژ و دشارژ خازن:

مدار شکل زیر را با استفاده از منبع ولتاژ ایده آل بنویسید و ولت‌متر آنالوگ روی کیت را در دو سر خازن قرار دهید.



الف) کلید را در وضعیت A قرار داده، و وضعیت شارژ خازن را مشاهده نمایید.

### سؤال

در حالت A ولتاژ دوسر خازن  $V_C$  چقدر است؟ و با کدامیک از روابط a یا b آنرا اثبات می کنید.

ب) کلید را در وضعیت B قرار دهید و وضعیت دشارژ خازن را مشاهده نمایید.

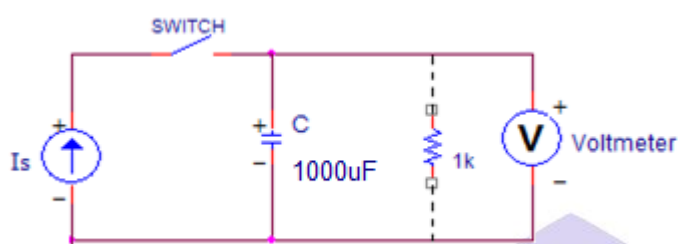
### سؤال

در حالت B پس از گذشت مدت قابل ملاحظه زمان، ولتاژ دوسر خازن  $V_C$  چقدر است؟ و با کدامیک از روابط a یا b آنرا

اثبات می کنید.

## ۲-۳) مقدار بار ذخیره شده در خازن:

مدار را طبق شکل زیر بسته و از منبع جریان ۱ میلی آمپر استفاده کنید. سپس نتایج خواسته شده را با اتصال کلید در جدول بنویسید. (دقت: پس از هر مرحله آزمایش، برای مرحله بعد سوئیچ را قطع کرده و یک مقاومت  $R=1K\Omega$  را با خازن موازی کرده تا تمام انرژی ذخیره شده آن تخلیه شود. همینطور از ولت‌متر آنالوگ برای خواندن ولتاژ خازن و برای خواندن زمان از یک کرونومتر استفاده نمایید.)



| C(uF) | I(mA) | T(sec) | $V_C(V)$ | کولمب $Q_C = (I \times T)$ | کولمب $Q_C = (C \times V_C)$ |
|-------|-------|--------|----------|----------------------------|------------------------------|
| 1000  | 0.5   | 5      |          |                            |                              |
| 1000  | 0.5   | 10     |          |                            |                              |
| 1000  | 0.5   | 15     |          |                            |                              |
| 1000  | 0.5   | 20     |          |                            |                              |
| 1000  | 0.2   | 5      |          |                            |                              |
| 1000  | 0.2   | 10     |          |                            |                              |
| 1000  | 0.2   | 15     |          |                            |                              |

سؤال

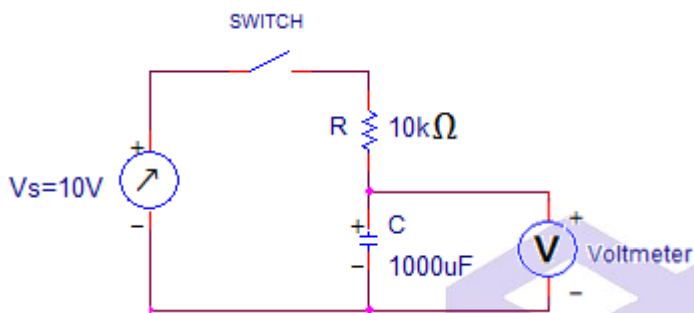
۱) درستی روابط کولمب ذکر شده در جدول را تحقیق نمایید.

۲) چه عللی باعث نامساوی بودن مقادیر  $(C \times V_C)$  و  $(I \times T)$  از نظر عملی یا تئوری هستند؟

## ۳-۳ شارژ شدن خازن بر حسب زمان:

مدار زیر را بسته و دقت داشته باشید قبل از اتصال کلید، خازن کاملاً تخلیه شده باشد. سپس مقادیر خواسته شده را در زمان های مورد نظر یادداشت نمایید.

(راهنمایی: از ولت‌متر آنالوگ برای خواندن  $V_C$  استفاده نمایید و همچنین برای محاسبه جریان می توانید از فرمول  $I_C = \frac{V_S - V_C}{R = 10K}$  استفاده نمایید.)



| T(sec)    | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| $V_C(V)$  |   |   |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_C(mA)$ |   |   |    |    |    |    |    |    |    |     |

## سؤال

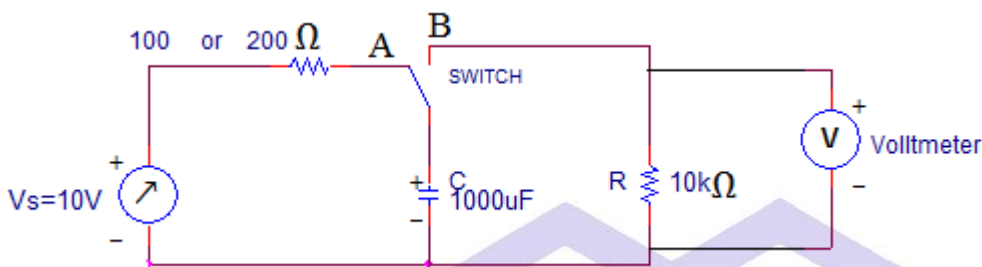
۱) با رسم منحنی یا مشخصه  $V_C(t)$  (ولتاژ بر حسب زمان)،  $\tau$  (مقدار ثابت زمانی) مدار را بدست آورید. سپس با مقدار تئوری آن مقایسه کرده و دلیل تفاوت بین مقادیر را بطور دقیق توضیح دهید.

۲) زمان شارژ خازن در این مدار چقدر است؟

## ۴-۳) دشارژ شدن خازن بر حسب زمان:

حال مدار زیر را بسته و اول کلید را در حالت A قرار داده و کمی صبر کنید تا خازن به اندازه ولتاژ منبع شارژ شود. سپس کلید را به وضعیت B برگردانید تا خازن به عنوان یک منبع ولتاژ جداگانه عمل کند. حال با اندازه گیری ولتاژ در زمانهای مشخص جدول را کامل نمایید.

(توجه: به نکاتی که در قسمت (۳-۳) توضیح داده شده است توجه کرده و به همان صورت آزمایش را انجام دهید).



| T(sec)    | 0  | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
|-----------|----|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| $V_C(V)$  | 10 |   |    |    |    |    |    |    |    |     |
| $I_C(mA)$ |    |   |    |    |    |    |    |    |    |     |

## سؤال

۱) با رسم منحنی یا مشخصه  $V_C(t)$  (ولتاژ بر حسب زمان)،  $\tau$  (مقدار ثابت زمانی) مدار را بدست آورید. سپس با مقدار تئوری آن مقایسه کرده و دلیل تفاوت بین مقادیر را بطور دقیق توضیح دهید.

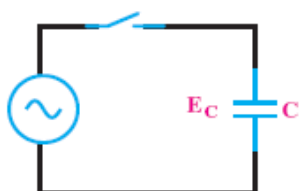
۲) نقش قطع و وصل کردن کلید در مداراتی که از المانهای ذخیره انرژی استفاده می شود را توضیح دهید.

## آزمایش شماره ۴

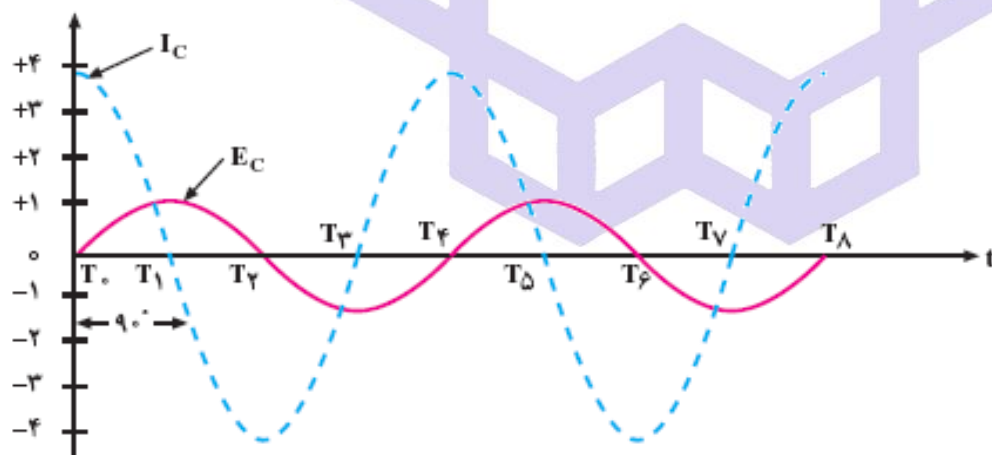
## بررسی رفتار خازن در مدارهای A.C (ولتاژ متناوب)

## یادآوری

در صورتی که موج سینوسی به دو سر یک خازن بدهیم. در لحظه هایی که خازن به حداکثر مقدار شارژ خود میرسد، جریان عبوری از آن صفر میشود. هم چنین در زمانی که ولتاژ دو سر خازن به صفر میرسد، مقدار جریان آن حداکثر میشود. به عبارت دیگر خازن در جریان متناوب به طور دائم شارژ و دشارژ میشود.



در نیم سیکل + ولتاژ خازن رفته رفته زیاد می شود. به عبارتی ولتاژ خازن از صفر تا ماکزیمم و سپس از ماکزیمم به صفر می رسد. جریان خازن از ماکزیمم به صفر و مقدار آن منفی می شود و در نیم سیکل - این روند ادامه دارد ولی برعکس نیم سیکل + است.



مخالفت خازن در برابر جاری شدن جریان در مدار AC را مقاومت خازنی یا راکتانس خازنی گویند. عوامل موثر بر راکتانس خازنی که آنرا با  $X_C$  نشان می دهند و واحد آن اهم است عبارتند از: (۱) فرکانس (۲) ظرفیت خازن.

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C} , \quad \omega = 2\pi f , \quad X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

دقت شود : در این آزمایش برای اعمال سیگنال سینوسی، از سیگنال ژنراتور LODSTAR و از اسیلوسکوپ برای خواندن مقادیر ولتاژ، استفاده کنید. مقادیر ولتاژ خوانده شده روی شکل موج توسط اسیلوسکوپ، مقدار مؤثر یعنی  $V_{rms}$  (root mean square) یا  $V_{effective}$  نیستند. برای بدست آوردن مقدار مؤثر شکل موجهای متناوب سینوسی از

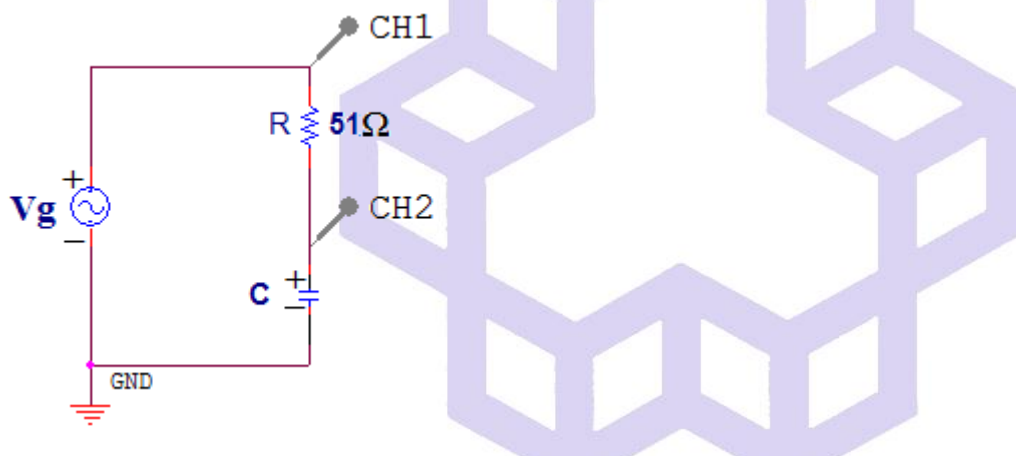
$$V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} \quad \text{رابطه مقابل استفاده کنید.}$$

## شرح آزمایش

### ۴-۱) رفتار خازن در برابر جریان متناوب:

(a) مدار شکل زیر را ببندید. با تغییر دامنه ورودی،  $V_C$  (ولتاژ دوسر خازن) را روی مقادیر خواسته شده تنظیم کنید. سپس

$I_C$  را از رابطه  $I_C = \frac{V_R}{R=51\Omega}$  بدست آورده و جدول زیر را تکمیل نمایید.



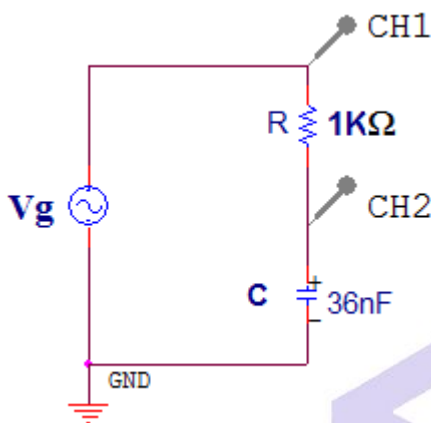
| $C(nf)$ | $F_g(KHZ)$ | $V_{C(P-P)}(V)$ | $V_{R(P-P)}(V)$ | $I_C(mA)$ | $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ | $X_C = \frac{V_C}{I_C} (K\Omega)$ |
|---------|------------|-----------------|-----------------|-----------|---------------------------|-----------------------------------|
| 36      | 2          | 8               |                 |           |                           |                                   |
| 36      | 4          | 8               |                 |           |                           |                                   |
| 36      | 4          | 4               |                 |           |                           |                                   |
| 36      | 8          | 8               |                 |           |                           |                                   |
| 18      | 8          | 8               |                 |           |                           |                                   |

سؤال

۱) چرا مقاومت  $51\Omega$  با سیگنال ژنراتور سری شده است؟

۲) تاثیر تغییرات مقدار ظرفیت خازن ، ولتاژ و مقدار فرکانس را توضیح دهید.

b) مدار زیر را بسته سپس برای مقادیر تعیین شده ولتاژ سیگنال ژنراتور،  $V_C$  و  $V_R$  را با اسلوسکوپ اندازه گیری نموده و در جدول یادداشت نمایید.



| $V_{g(P-P)}(V)$ | $F_g(KHZ)$ | $V_{C(P-P)}(V)$ | $V_{R(P-P)}(V)$ |
|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 8               | 4          |                 |                 |
| 8               | 2          |                 |                 |

سؤال

چه رابطه ای بین  $V_C$  و  $V_R$  و  $V_g$  در هر دو حالت با فرکانسهای متفاوت وجود دارد؟ با استفاده از دیاگرام برداری آنرا اثبات نمایید.

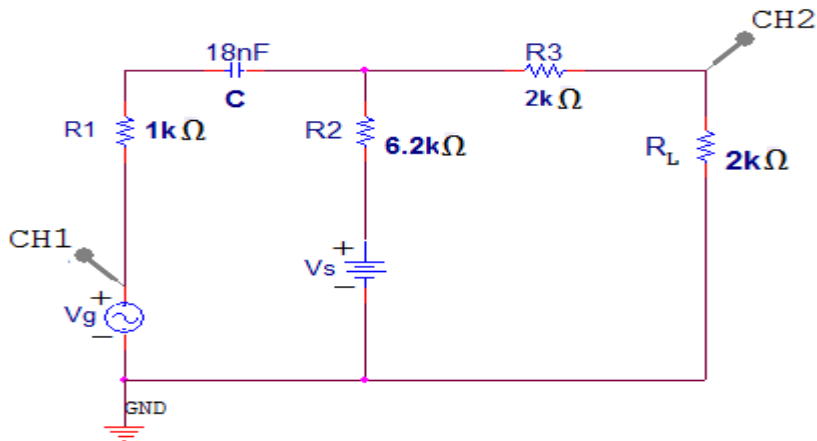
۲-۴) قضیه جمع آثار در مورد ولتاژها:

جمع آثار در مورد ولتاژ دو سر هر عضو نیز صادق است. به قسمت ۴-۲ (آزمایش دوم قسمت چهارم) مراجعه شود.

شرح آزمایش

مدار شکل زیر را بسته و طبق جدول مقدار ولتاژ خروجی را در حالت های خواسته شده بدست آورید (توجه داشته باشید که

مقدار مؤثر را در نظر بگیرید.)  $V_{RL(T)} =$  ولتاژ کل مقاومت بار



(a) مدار در حالت کلی (منبع  $V_S$  و  $V_g$  هر دو در مدار هستند).

(b) مدار بدون منبع D.C (منبع  $V_S$  را از مدار خارج کنید).

(c) مدار بدون منبع A.C (منبع  $V_g$  را از مدار خارج کنید).

این رابطه برای مقادیر لحظه ایی صادق است:

$$V_{R_L(T)} = V_{R_L(a.c)} + V_{R_L(d.c)}$$

$$V_{R_L(T)}(rms) = \sqrt{(V_{R_L(a.c)}(rms))^2 + (V_{R_L(d.c)})^2}$$

|   | $F_g(KHZ)$ | $V_g(V)$ |     | $V_{S(d.c)}(V)$ | $V_{R_L(a.c)}(V)$ |     | $V_{R_L(d.c)}(V)$ | $V_{R_L(T)}(rms)$ |
|---|------------|----------|-----|-----------------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|
|   |            | P-P      | rms |                 | P-P               | rms |                   |                   |
| a | 5          | 8        |     | 5               |                   |     |                   |                   |
| b | 5          | 8        |     | 0               |                   |     |                   |                   |
| c | 0          | 0        |     | 5               |                   |     |                   |                   |

سؤال

صحت رابطه  $V_{R_L(T)}(rms) = \sqrt{(V_{R_L(a.c)}(rms))^2 + (V_{R_L(d.c)})^2}$  را تحقیق کنید.

## آزمایش شماره ۵

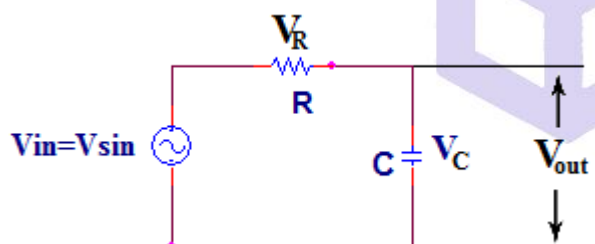
### پاسخ مدار RC به ولتاژهای سینوسی و مربعی

#### یادآوری

هدف از این آزمایش بررسی رفتار فرکانسی مدارهای مرتبه اول از نوع RC، اندازه گیری مشخصات زمانی مانند ثابت زمانی و پاسخ فرکانسی (پاسخ فرکانسی یعنی نسبت اندازه خروجی یک مدار به ورودی آن در فرکانسهای مختلف) مانند فرکانس قطع در این مدارها می باشد. همچنین در این آزمایش با برخی از کاربردهای این مدارها از قبیل مشتق گیر، انتگرال گیر و همچنین خواص فیلتری این مدارها آشنا می شویم. مدار RC بسته به ترکیب، نوع اعمال ورودی و نحوه قراردادن R یا C در خروجی می تواند بصورت فیلتر پایین گذر یا فیلتر بالا گذر رفتار کند. علت وابستگی پاسخ این مدارها به فرکانس، تغییر امپدانس خازن در اثر تغییر فرکانس ورودی است.

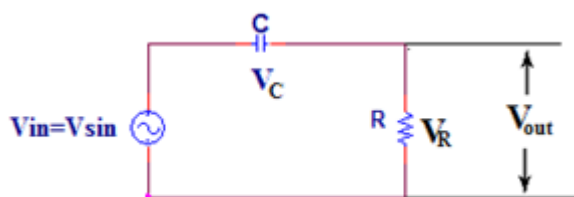
همانطور که می دانید فرکانس قطع جایی است که ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ورودی در فرکانس عبور کاهش می یابد (قضیه نصف توان). یا به عبارت دیگر 3db کاهش در دامنه ورودی ایجاد می شود.

۱- مدار پایین گذر شکل زیر، مداری است که ورودی DC و ورودیهای سینوسی فرکانس پایین را بخوبی عبور می دهد ولی ورودی با فرکانس بالا را تضعیف می کند. در این حالت فرکانس قطع از رابطه زیر بدست می آید:



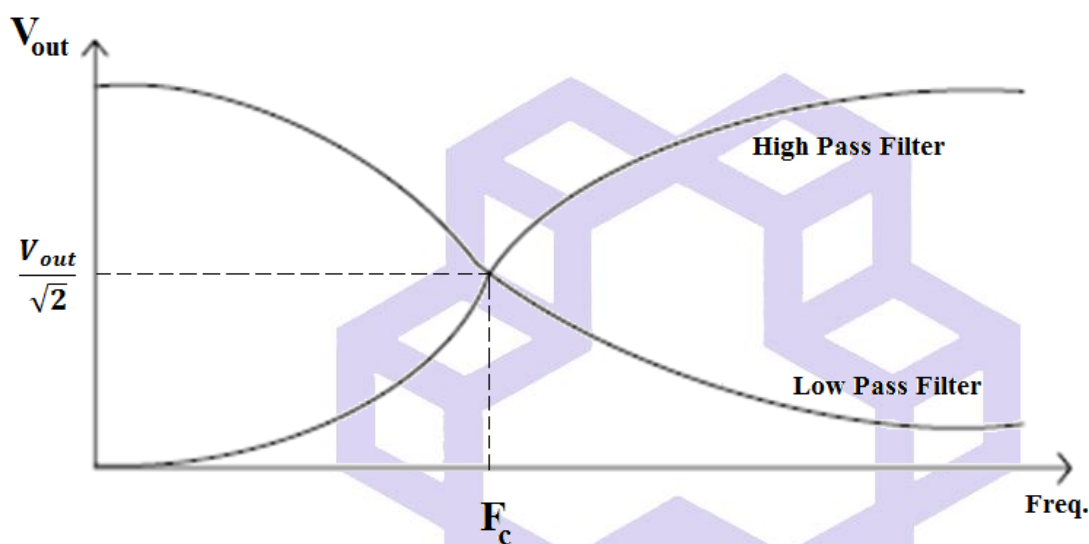
$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega_c RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}, \varphi = \tan^{-1}(-\omega_c RC)$$

۲- مدار بالا گذر شکل صفحه بعد مداری است که ورودیهای (سینوسی) با فرکانس بالا را بخوبی عبور می دهد ولی ورودی با فرکانسهای پایین را تضعیف می کند.



$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{\omega_c RC}{\sqrt{1 + (\omega_c RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}, \quad \varphi = \tan^{-1} \left( \frac{1}{\omega_c RC} \right)$$

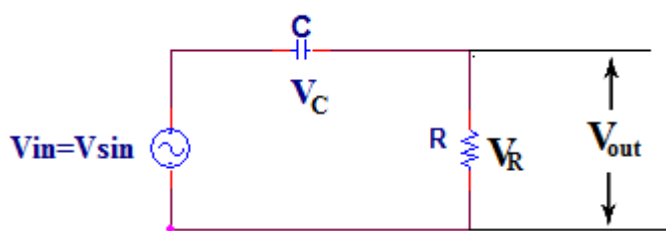
در این صورت نمودار خروجی بر حسب فرکانس ( $V_{in} = V_{sin}$ ) به صورت زیر خواهد بود:



۳ - مدارهای RC به عنوان انتگرال گیر و مشتق گیر:

الف) اگر مقادیر R و C در شکل زیر طوری انتخاب شوند که  $\omega RC \ll 1$  باشد، در این صورت  $V_{out}$  در فرکانسهای

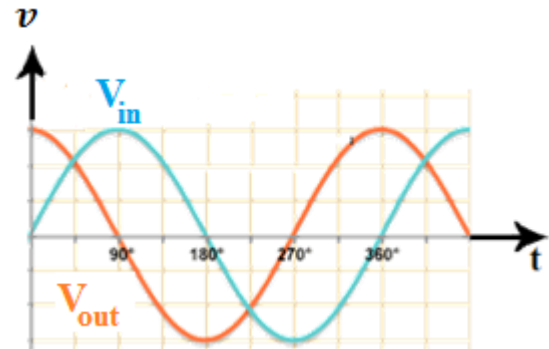
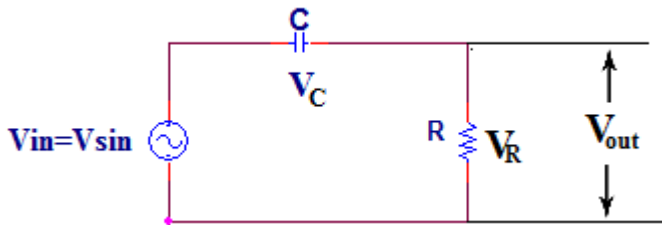
کوچکتر از  $f_c$  بسیار کوچکتر از  $V_i$  (تقریباً صفر) خواهد بود:



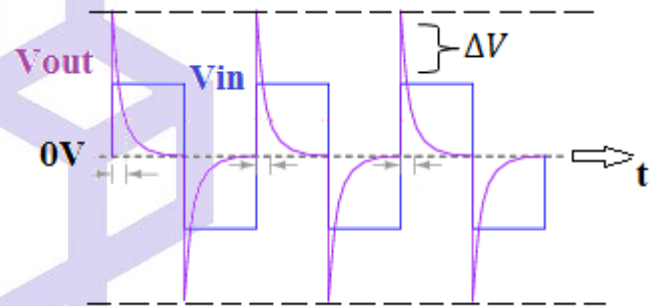
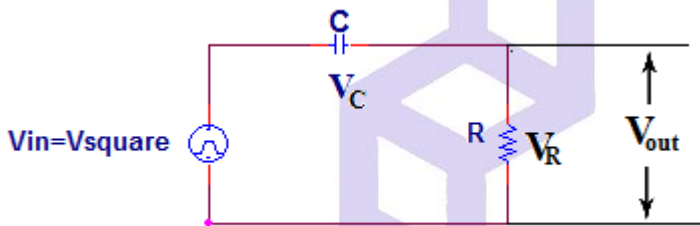
$$V_i(t) = \frac{1}{C} \int i dt + V_o(t) \approx \frac{1}{C} \int \frac{V_o(t)}{R} dt \Rightarrow V_o(t) = RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

تحت این شرایط مدار RC را یک مشتق گیر میگویند.

بنابراین اگر  $V_i$  سینوسی باشد، شکل موج خروجی ( $V_o$ )  $90^\circ$  با آن اختلاف فاز (پیش فاز) خواهد داشت.

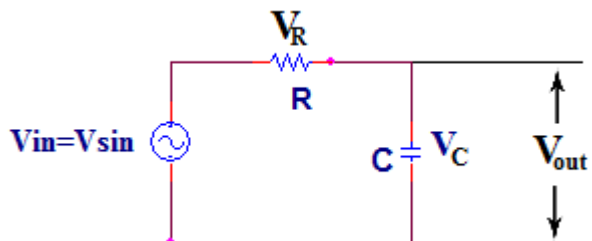


در صورتیکه ورودی مربعی باشد، خروجی بسته به فرکانس ورودی مطابق شکل زیر دارای Tilt خواهد بود:



ب) اگر مقادیر R و C در شکل زیر طوری انتخاب شوند که  $\omega RC \gg 1$  باشد، در این صورت  $V_{out}$  در فرکانسهای

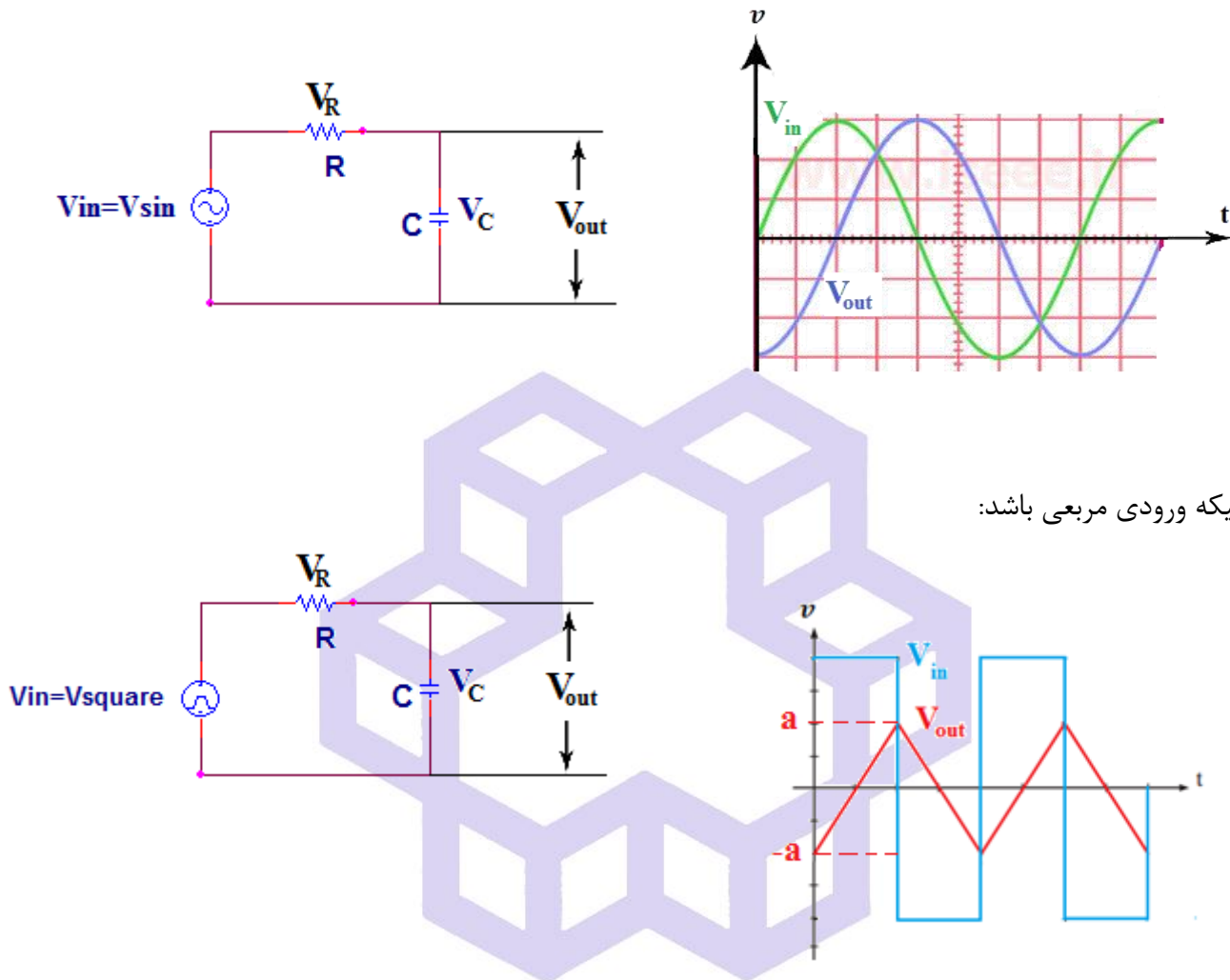
بزرگتر از  $f_c$  بسیار کوچکتر از  $V_i$  (تقریباً صفر) خواهد بود:



$$V_i(t) = Ri(t) + V_o(t) \approx Ri(t) = RC \frac{dV_o(t)}{dt} \Rightarrow V_o(t) = \frac{1}{RC} \int V_i(t) dt$$

تحت این شرایط مدار RC را انتگرال گیر می گویند. بنابراین اگر ورودی سینوسی باشد، شکل موج خروجی  $90^\circ$  با آن اختلاف فاز (پس فاز) خواهد داشت.

با اعمال ورودی سینوسی و مربعی به مدار انتگرال گیر، خروجی بصورت زیر خواهد بود:



در صورتیکه ورودی مربعی باشد:

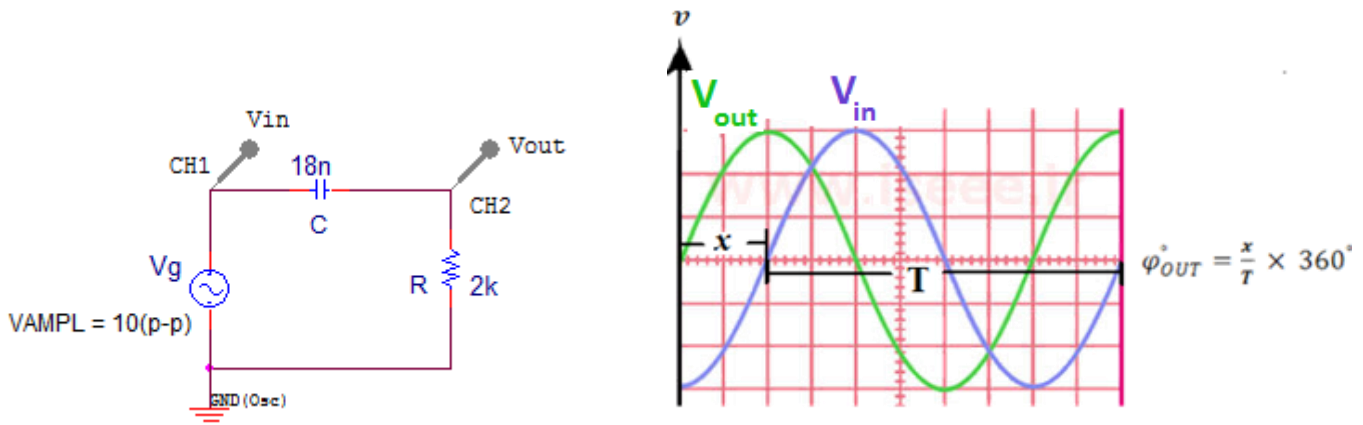
$$|a| = \left| V_i \times \frac{e^{-\frac{T}{RC}} - 1}{e^{-\frac{T}{RC}} + 1} \right|$$

دقت: در انتگرال گیری با موج مربعی

## شرح آزمایش

۵-۱) پاسخ مدار بالا گذر: (a) استفاده از موج سینوسی:

یک مدار RC ساده زیر را با دامنه ولتاژ ورودی را  $10V_{p-p}$  ببندید و سپس با تغییر فرکانس، جدول را کامل نمایید..



(توجه: دامنه ولتاژ در هر مرحله، باید مقدار ثابت خود یعنی  $10V$  را داشته باشد.)

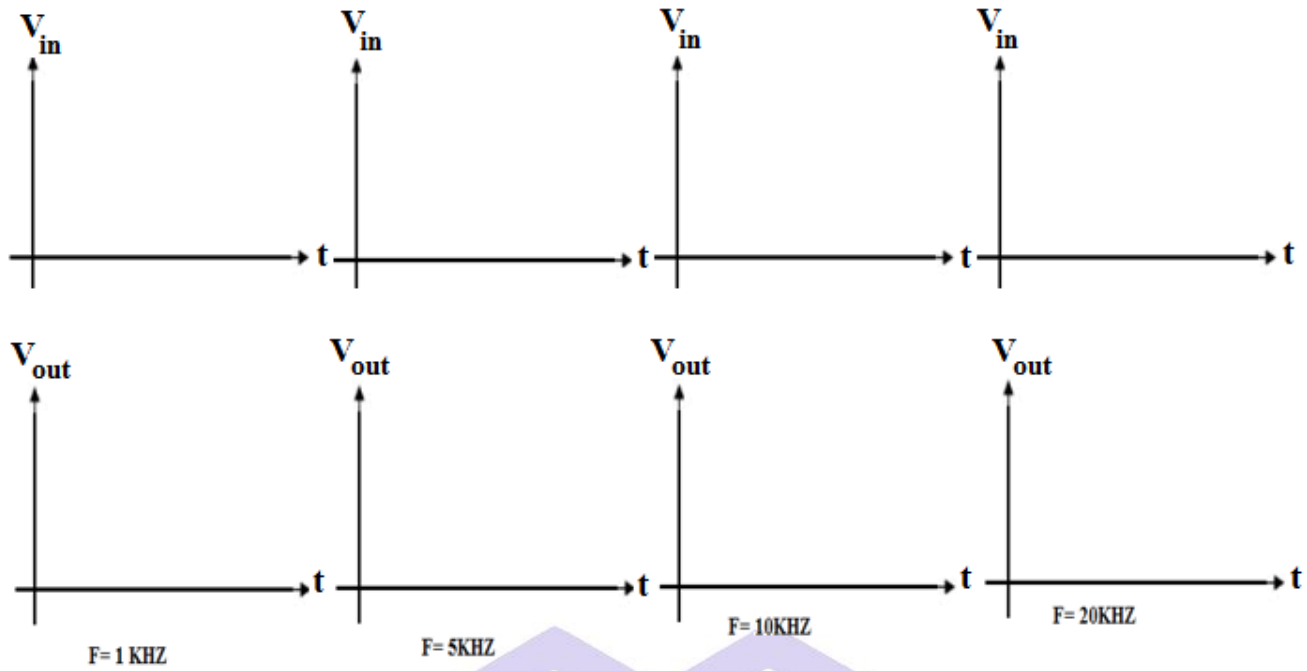
| $F(KHZ)$           | 0.1 | 0.5 | 1 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 |
|--------------------|-----|-----|---|---|---|---|---|----|----|----|
| $V_{OUT_{Max}}(V)$ |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $T$                |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $x$                |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $\phi_{OUT}$       |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |

### سؤال

- ۱) منحنی تغییرات  $V_{OUT}$  و  $\phi_{OUT}$  را برحسب فرکانس رسم نمایید.
- ۲) فرکانس کاهش ولتاژ به اندازه  $3db$  را هم از روی منحنی پاسخ فرکانسی و هم بصورت تئوری بدست آورید.
- ۳) در مقدار کاهش  $3db$ ،  $\phi_{OUT}$  چه مقدار می باشد؟

### (b) استفاده از موج مربعی (مدار مشتق گیر):

- ۱- مدار شکل a را ببندید. با این تفاوت که به جای ولتاژ سینوسی، ولتاژ مربعی به مدار با دامنه  $5V(p-p)$  اعمال نمایید.
- سپس شکل موج خروجی را برحسب فرکانسهای خواسته شده همراه با شکل ورودی متناظر آن ترسیم نمایید.



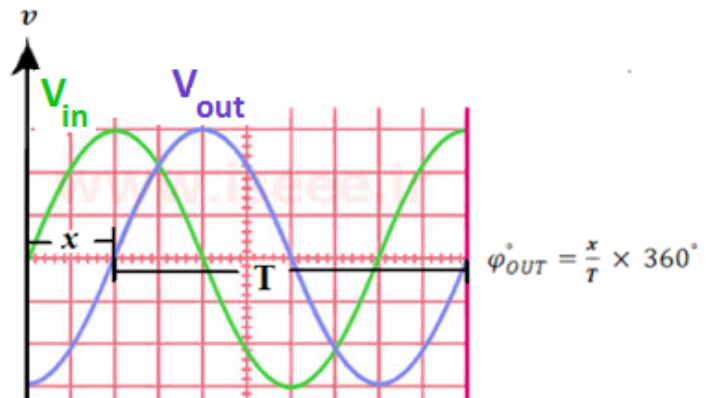
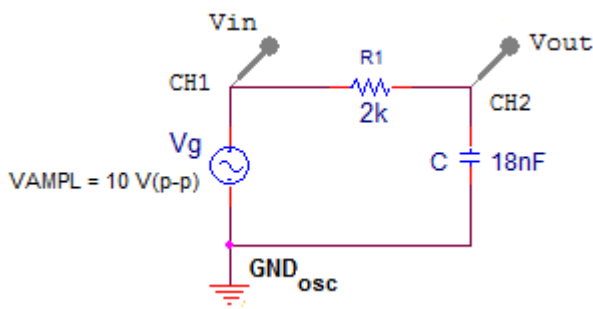
### سؤال

(۱) در چه صورت خروجی بصورت سوزنی کامل خواهد شد؟

(۲) مقدار  $\Delta V$  را هم از لحاظ تئوری و عملی بدست آورید. چرا با افزایش فرکانس این مقدار کاهش می یابد؟

(۳-۵) پاسخ مدار پایین گذر: (a) استفاده از موج سینوسی:

مدار RC ساده زیر را بسته و دامنه ولتاژ سینوسی ورودی را  $10V_{p-p}$  تنظیم کنید و سپس موارد خواسته شده را با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور در جدول یادداشت نمایید.



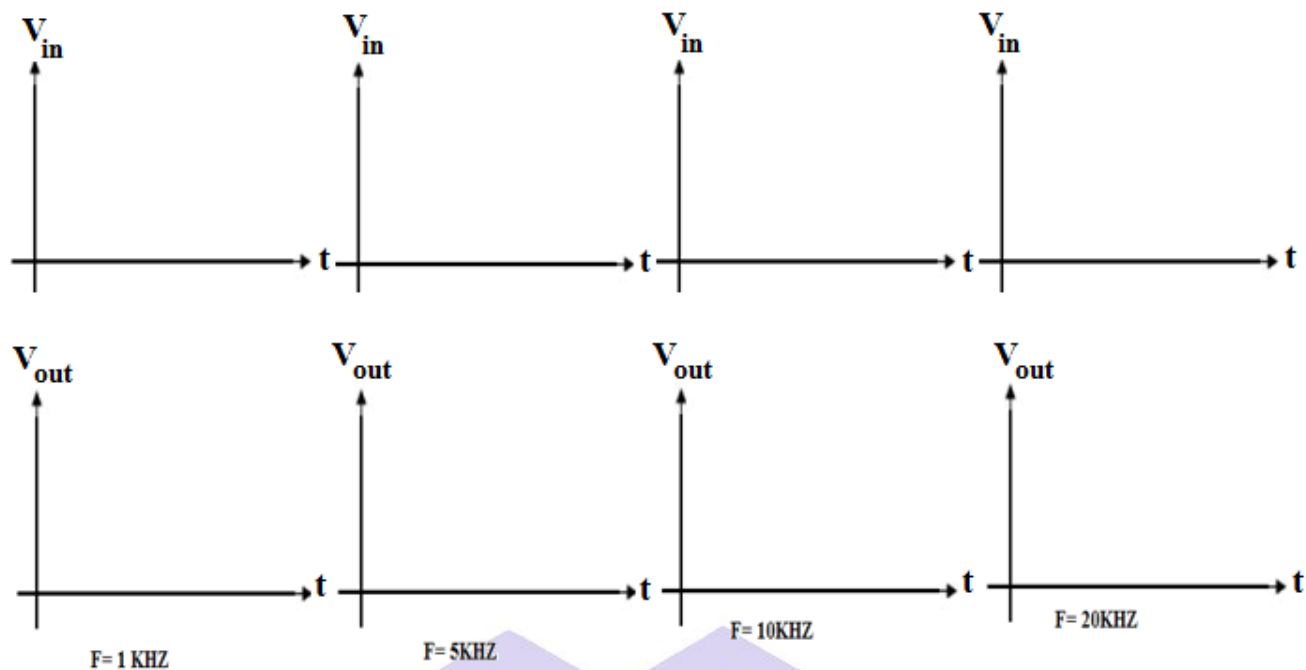
| $F(KHZ)$             | 0.1 | 0.5 | 1 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 |
|----------------------|-----|-----|---|---|---|---|---|----|----|----|
| $V_{OUT_{Max}}(V)$   |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $T$                  |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $x$                  |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |
| $\phi_{OUT}^{\circ}$ |     |     |   |   |   |   |   |    |    |    |

### سؤال

- (۱) منحنی تغییرات  $V_{OUT}$  و  $\phi_{OUT}^{\circ}$  را برحسب فرکانس رسم نمایید.
- (۲) فرکانس کاهش ولتاژ به اندازه  $3db$  را هم از روی منحنی پاسخ فرکانسی و هم بصورت تئوری بدست آورید.
- (۳) در مقدار کاهش  $3db$ ،  $\phi_{OUT}^{\circ}$  چه مقدار می باشد؟

(d) استفاده از موج مربعی (مدار انتگرال گیر):

مدار صفحه قبل (a) را ببینید. با این تفاوت که به جای ولتاژ سینوسی، ولتاژ مربعی با دامنه  $5V(p-p)$  اعمال نمایید. سپس شکل موج خروجی را برحسب فرکانسهای خواسته شده همراه با شکل ورودی متناظر آن ترسیم نمایید.



### سؤال

(۱) رابطه  $|a| = \left| V_i \times \frac{e^{-\frac{T}{RC}} - 1}{e^{-\frac{T}{RC}} + 1} \right|$  را ثابت نمایید.

(۲) در یک انتگرال گیر و مشتق گیر خوب، چه رابطه ای بین  $T$  و  $\tau$  (دوره تناوب سیگنال) می باشد؟ با ذکر رابطه.

## آزمایش شماره ۶

### اندازه گیری دامنه، فرکانس، اختلاف فاز و فرکانس روزنانس توسط اسیلوسکوپ

#### یادآوری

همانطور که می دانید:

الف) اسیلوسکوپ های دو کاناله می توانند همزمان دو شکل موج را نمایش دهند و علاوه بر امکان اندازه گیری دامنه و فرکانس، اندازه گیری اختلاف فاز بین دو موج متناوب هم فرکانس توسط آنها به دو روش امکان پذیر است.

(۱) استفاده از محور زمان.

(۲) با استفاده از منحنی لیسازو.

ب) در برخی از کاربردها، ولتاژ مورد سنجش بیشتر از مقداری است که توسط اسیلوسکوپ می توان اندازه گیری کرد. در این صورت باید از مقسم ولتاژ ( پروپ تضعیف کننده) استفاده کرد.

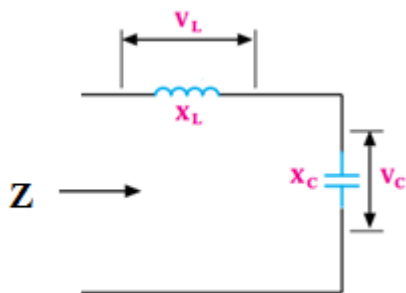
ج) رفتار سلف و خازن در ولتاژ متناوب:

(۱) اگر به یک مقاومت ولتاژ سینوسی اعمال شود، همواره جریانی در آن جاری می شود که با آن نسبت مستقیم دارد. در صورتی که فرکانس منبع اعمال شده تغییر کند و ولتاژ آن ثابت باشد، جریان آن تغییر نخواهد کرد. زیرا مقدار مقاومت مستقل از فرکانس است.

(۲) در مورد سلف و خازن، تلاش بر این است تا آنها را بصورت سری یا موازی باهم در یک مدار بسته و سپس با تغییر فرکانس و تاثیر آن بر روی ولتاژ خروجی مدار بررسی شود.

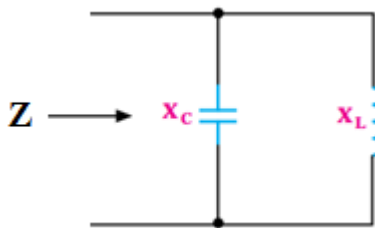
خازن در جریان متناوب باعث ایجاد اختلاف فاز  $+\frac{\pi}{2}$  بین جریان و ولتاژ آن می شود که نسبت ولتاژ به جریان به صورت  $X_C$  (راکتانس خازنی یا مقاومت خازنی) خواهد بود. در صورتیکه سلف در جریان متناوب باعث ایجاد اختلاف فاز  $-\frac{\pi}{2}$  بین جریان و ولتاژ آن می شود. همچنین نسبت ولتاژ به جریان به صورت  $X_L$  (راکتانس سلفی یا مقاومت القایی) می باشد.

(a) مدار LC سری: امپدانس کل ( $Z$ ) برابر است با  $Z = X_L - X_C$  و در زمان تشدید  $Z = 0$  خواهد شد.



بنابراین فرکانس رزونانس مدار  $f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L \times C})}$

(b) مدار LC موازی: امپدانس کل ( $Z$ ) برابر است با  $Z = \frac{X_L \times X_C}{(X_L - X_C)}$  و در زمان تشدید  $Z = \infty$  خواهد شد.

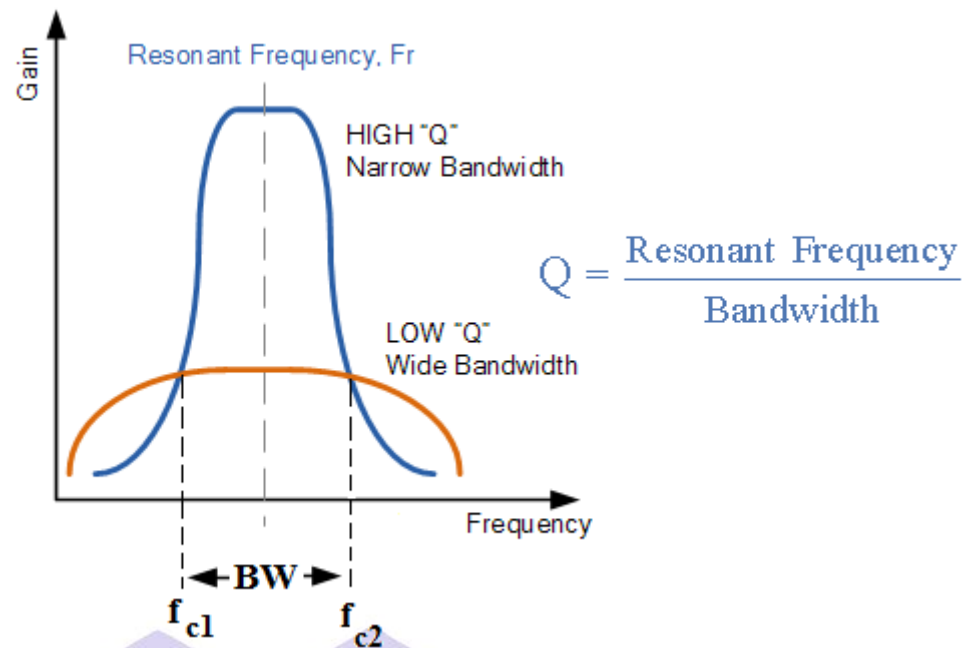


بنابراین فرکانس رزونانس مدار  $f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L \times C})}$

نکته: ضریب افزایش ولتاژ یا به عبارتی ضریب کیفیت برای سلف  $Q = \frac{L\omega_0}{R}$  و ضریب افزایش ولتاژ یا به عبارتی ضریب

کیفیت برای خازن  $Q = \frac{1}{RC\omega_0}$  می باشد. شکل زیر نمودار گینیک فیلتر میان گذر باند تقریباً با پهنای باند کم را

برحسب  $(GAIN(f) = A_V(f) = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|)$  نشان می دهد.

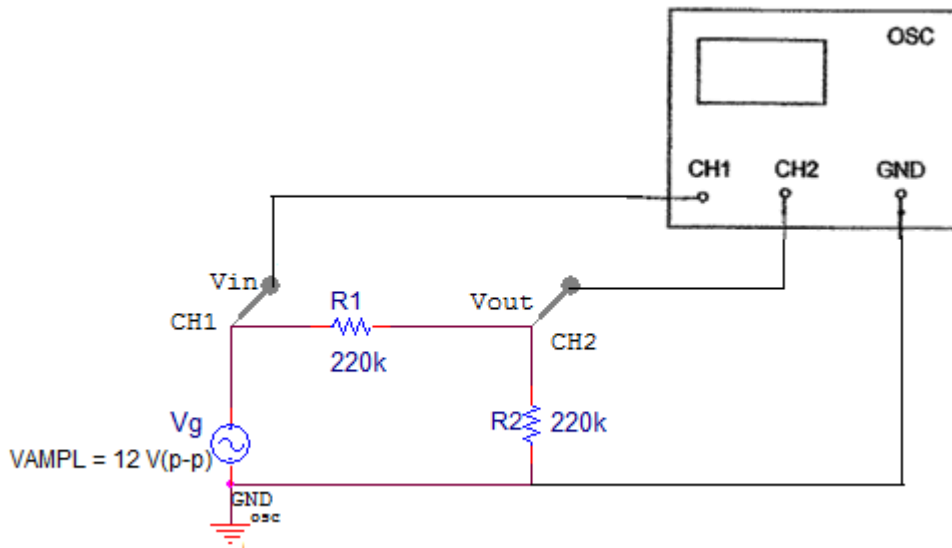


(توجه داشته باشید: \* در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت، خازن و سلف دهنده‌ی استفاده نمایید. \* اندازه گیری دامنه و فرکانس با استفاده از محورهای  $X$  و  $Y$  در آزمایشهای قبل آموزش داده شده است.)

## شرح آزمایش

۶-۱) اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  با تغییر فرکانس توسط اسیلوسکوپ (پروپ تضعیف کننده):

مدار صفحه بعدی را ببینید و تغییرات ولتاژ دوسر مقاومت  $R_2$  را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید.



نکته مهم : پس از هر بار تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، دقت کنید که دامنه  $V_g(p-p)$  همواره ثابت و  $12V$  بماند.

(توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت، خازن و سلف دهدهی استفاده نمایید.)

| $F(KHZ)$         | 0.5 | 1 | 5 | 10 | 30 | 50 | 80 | 100 | 150 | 200 |
|------------------|-----|---|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| $V_{R2(p-p)}(V)$ |     |   |   |    |    |    |    |     |     |     |

### سؤال

(۱) منحنی تغییرات  $V_{R2(p-p)}$  را برحسب تغییرات فرکانس رسم نمایید.

(۲) علت افت ولتاژ  $V_{R2}$  در فرکانس های بالا را بیان کنید با ذکر رابطه و فرمول.

(۳) چرا برای تضعیف (تقسیم ولتاژ) از پروپ تضعیف کننده استفاده می شود. ساختمان چگونه است و علت تفاوت آنرا با

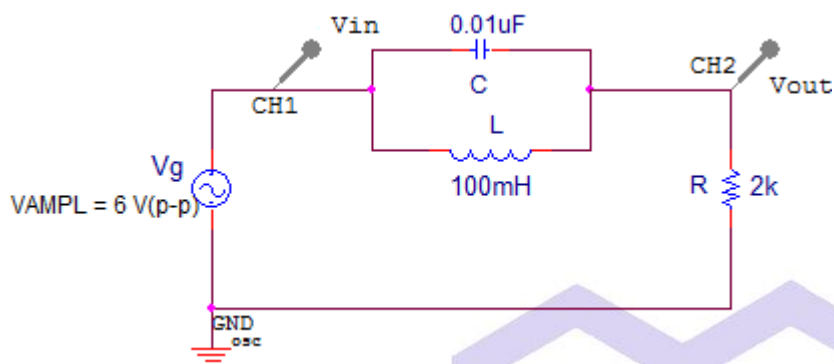
مقسم ولتاژ آزمایش فوق بیان کنید؟

### ۲-۶) تعیین فرکانس رزونانس مدار LC موازی با تغییر فرکانس:

مدار صفحه بعد را بسته و تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت  $R$  را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید.

نکته مهم: پس از هر بار تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، دقت کنید که دامنه  $V_g(p-p)$  همواره ثابت و  $6V$  بماند.

(توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت، خازن و سلف دهدهی استفاده نمایید.)



| $F(KHZ)$        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $V_{R(p-p)}(V)$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

### سؤال

(۱) منحنی تغییرات  $V_{R(p-p)}$  را بر حسب تغییرات فرکانس رسم نمایید.

(۲) فرکانس رزونانس یا تشدید را هم بصورت تئوری  $f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L \times C})}$  و هم از روی جدول و نیز منحنی سؤال ۱

بدست آورده، با هم مقایسه کنید.

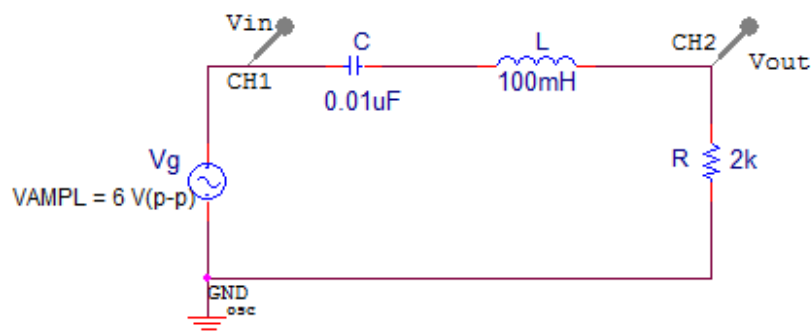
(۳) علت اینکه در رزونانس موازی، ولتاژ دوسر  $R$  ( $V_R$ ) به حداقل مقدار خود می رسد را توضیح دهید.

(۴)  $V_R$  در این آزمایش چه کمیتی از مدار را بیان می کند؟

(۵) پهنای باند را از روی منحنی تغییرات ولتاژ خروجی بدست آورده و با استفاده از روابط تئوری صحت آنرا ثابت کنید.

(۳-۶) تعیین فرکانس رزونانس مدار LC سری با تغییر فرکانس:

مداری مطابق شکل صفحه بعدی ببندید و ولتاژ دو سر مقاومت R را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید.



| $F(KHZ)$        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $V_{R(p-p)}(V)$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

### سؤال

۱) منحنی تغییرات  $V_{R(p-p)}$  را برحسب تغییرات فرکانس رسم نمایید.

۲) فرکانس رزونانس یا تشدید را هم بصورت تئوری  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$  و هم از روی جدول بدست آورده و نیز

منحنی سؤال ۱\_ بدست آورده، سپس با هم مقایسه کنید.

۳) علت اینکه در رزونانس سری، ولتاژ دوسر  $R$  ( $V_R$ ) به حداکثر مقدار خود می رسد را توضیح دهید.

۴)  $V_R$  در این آزمایش چه کمیتی از مدار را بیان می کند؟

۵) پهنای باند را از روی منحنی تغییرات ولتاژ خروجی بدست آورده و با استفاده از روابط تئوری صحت آنرا ثابت کنید.

## آزمایش شماره ۷

# استفاده از منحنی های لیسازو و مدولاسیون Z (Z-Mode) - اندازه گیری اختلاف فاز، فرکانس و کالیبره کردن یک سیگنال ژنراتور

## یادآوری

برای تشکیل منحنی لیسازو باید کلید انتخاب کننده زمان را روی وضعیت X-Y قرارداد. در این صورت ولتاژهای  $V_X$  و  $V_Y$  مورد نظر را به ورودی های CH1 و CH2 وصل می شوند. در این حالت اسیلوسکوپ زمان را بین دو ورودی حذف می کند.

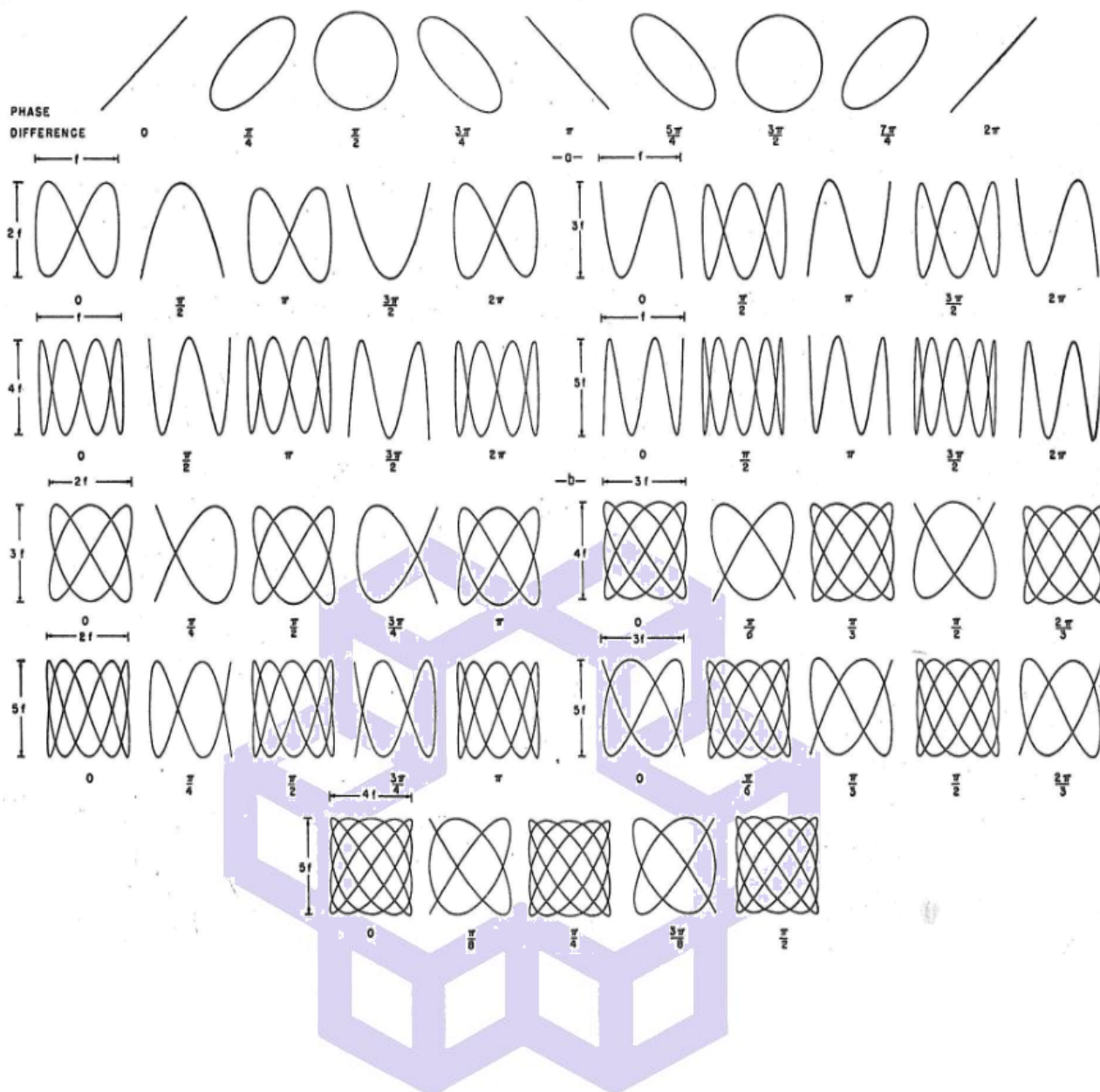
$$1) V_X = f_1(t) = a \sin(\omega_1 t)$$

$$2) V_Y = f_2(t) = b \sin(\omega_2 t - \varphi)$$

( $\varphi$  = همان اختلاف فاز دو سیگنال می باشد.)

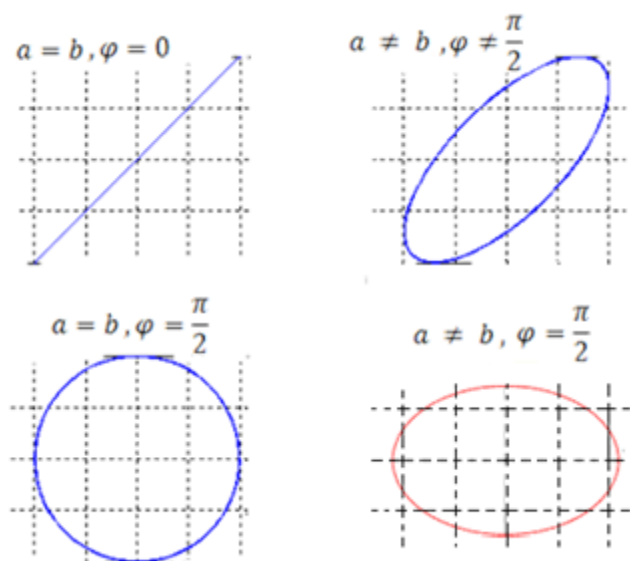
اگر  $V_X$  خطی باشد در آن صورت تابع  $V_Y$  دیده خواهد شد و بالعکس. با حذف زمان بین دو تابع سینوسی و بسته به مقادیر فرکانسهای  $f_1$  و  $f_2$  شکلهای مختلفی روی اسکوپ مشاهده خواهد شد که به منحنی لیسازو معروفند.

شکل صفحه بعد منحنی های لیسازو را با در نظر گرفتن نسبت های مختلف فرکانس و اختلاف فازهای مختلف نشان می دهد.



علاوه بر این با استفاده از منحنی های لیسازو می توان به روش مقایسه ایی که در آن خطای دستگاه اندازه گیری تقریباً حذف می شود، فرکانس مجهول را در مقایسه با یک سیگنال ژنراتور دقیق معلوم کرد و یا یک سیگنال ژنراتور را با سیگنال ژنراتور دقیق دیگر مقایسه و کالیبره نمود که در هر دو مورد، دقت اندازه گیری بیشتر است:

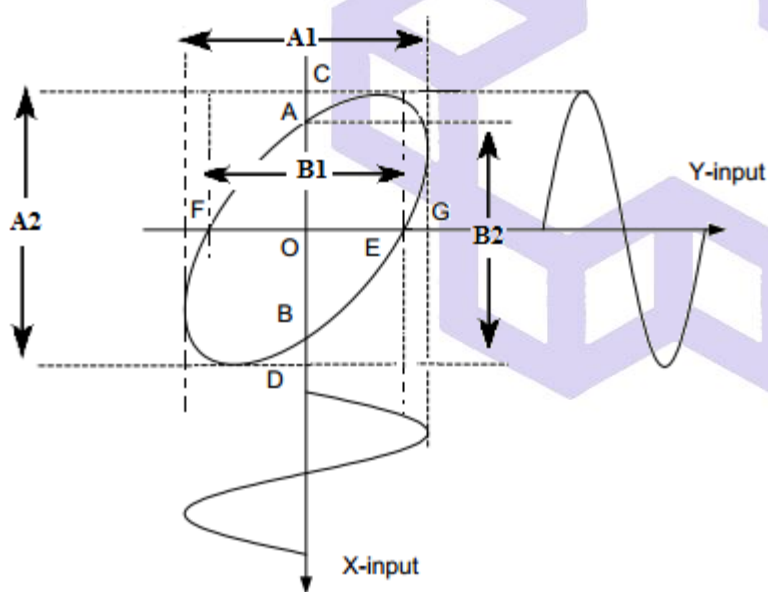
الف) در حالتیکه  $f_1 = f_2$  باشد: با توجه به دامنه و اختلاف فاز بین دو ولتاژ، اشکال صفحه بعدی بدست می آیند:



با توجه به معادله ولتاژهای اعمال شده به صفحات انحراف  $X$  و  $Y$ ، برای بدست آوردن اختلاف فاز بین دو موج به صورت زیر

$$X = a \sin(\omega t), Y = b \sin(\omega t - \varphi)$$

عمل می کنیم:



$$\text{if } Y = 0 \Rightarrow \sin(\omega t - \varphi) = 0 \Rightarrow \omega t = \varphi$$

(۱) مختصات روی محور  $X$ :

$$\left. \begin{matrix} a \sin(\varphi) \\ 0 \end{matrix} \right|_E, \left. \begin{matrix} a \\ 0 \end{matrix} \right|_G \rightarrow \sin(\varphi) = \frac{OE}{OG} = \frac{2OE}{2OG} = \frac{B1}{A1} \rightarrow \varphi = \sin^{-1}\left(\frac{B1}{A1}\right)$$

۲) مختصات روی محور  $Y$ :  $\text{if } X = 0 \Rightarrow \omega t = 0 \Rightarrow Y = b \sin(\varphi)$

$$A \left| \begin{matrix} 0 \\ b \sin(\varphi) \end{matrix} \right|, C \left| \begin{matrix} 0 \\ b \end{matrix} \right| \rightarrow \sin(\varphi) = \frac{OA}{OC} = \frac{2OA}{2OC} = \frac{B2}{A2} \rightarrow \varphi = \sin^{-1}\left(\frac{B2}{A2}\right)$$

از مقایسه روابط ۱ و ۲ خواهیم داشت:

$$|\varphi| = \sin^{-1}\left(\frac{B1}{A1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{B2}{A2}\right) \Rightarrow \frac{B1}{A1} = \frac{B2}{A2}$$

بنابراین می توان نتیجه گرفت که حساسیت محورهای  $X$  و  $Y$  در محاسبه  $\varphi$ ، بی تاثیر است.

در اینجا مسئله پیش فاز یا پس فاز بودن دو سیگنال نسبت به یکدیگر به علت استفاده از قدرمطلق اختلاف فاز، در نظر گرفته نشده است.

ب) در حالتیکه  $f_1 \neq f_2$  باشد: با توجه به اشکال صفحه قبل، دو نوع شکل دیده می شود. شکلهای دارای تقارن دو محوری (مرکزی) و شکلهای تقارن یک محوری. در نتیجه دو وضعیت رخ می دهد:

۱) منحنی لیسازو کاملاً بدون تغییر و ثابت بماند:

چهار وجهی شکل حاصل را رسم می کنیم و یک گوشه آنرا در نظر می گیریم.

$$a) \frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{تعداد نقاط تماس در امتداد } X}{\text{تعداد نقاط تماس در امتداد } Y} = \frac{a}{b}$$

برای اشکال دارای تقارن دو محوری توام:

برای اشکال دارای تقارن یک محوری:

$$b) \frac{f_Y}{f_X} = \frac{(2 \text{ برابر تعداد نقاط تماس در امتداد } X + \text{تعداد نقاط تقاطع در امتداد } X)=m}{(2 \text{ برابر تعداد نقاط تماس در امتداد } Y + \text{تعداد نقاط تقاطع در امتداد } Y)=n} = \frac{m}{n}$$

**m** و **n** دو عدد صحیح هستند. در این حالت منحنی لیسازور تغییر نکرده و خطای اسکوپ هم کاملاً حذف می شود. به عبارتی دقت  $f_Y$  به  $f_X$  مربوط می شود.

(۲) منحنی لیسازو ثابت نمانده و تغییر وضعیت می دهد:

(توجه: در این حالت از رابطه **b** که رابطه **a** را نیز پوشش می دهد، استفاده می کنیم).

در این صورت حداقل صورت یا مخرج کسر نسبت دو فرکانس عدد صحیح نیست، که در نتیجه آن اختلاف فاز متغیر نسبت به زمان بوجود می آید، در نتیجه رابطه زیر بین دوفرکانس برقرار خواهد بود.

$$c) f_Y = \frac{m}{n} \times f_X \pm \frac{N}{n}$$

$N$  = تعداد دفعات تکرار شکل در ثانیه است.

\*در رابطه **C**، نسبت منحنی لیسازو غالب است که تغییر وضعیت می دهد.

\*در رابطه **C**، هر مقدار که **N** از عدد یک کوچکتر باشد، دقت اندازه گیری بیشتر است.

\*برای تشخیص علامت  $\pm$ ، باید اسیلوسکوپ را در حالت دوکاناله (DUAL) قرار داده و با توجه به جهت حرکت یک کانال نسبت به کانال دیگر؛ علامت را مشخص نمود.

با مثال زیر خطای حاصل از دستگاه اندازه گیری را بررسی می کنیم:

فرض می کنیم یک منحنی لیسازو داریم که در آن  $f_X = 100$ ،  $f_Y = 200$  هستند. در نتیجه طبق رابطه **C**:

\*برای تقارن یک محوری با تکرار هر 10s یکبار:

$$f_Y = \frac{2}{1} \times 100 \pm \frac{1}{10} = 200 \pm \frac{1}{10} \Rightarrow \Rightarrow \quad 0.05\% \text{ خطا داریم}$$

\* برای تقارن دو محوری با تکرار هر 5s یکبار:

$$f_Y = \frac{4}{2} \times 100 \pm \frac{1}{2} = 200 \pm \frac{1}{10} \Rightarrow \Rightarrow \quad 0.05\% \text{ خطا داریم}$$

در روابط فوق همه مقدار  $\frac{N}{n}$  را خطا در نظر گرفته ایم. در صورتیکه در بدترین شرایط خطای قرائت را 10% در نظر

بگیریم، خطا در هر دو مورد 10 برابر کمتر خواهد شد.

مقدار خطای محاسبه شده، فقط **خطای قرائت توسط اسیلوسکوپ** است و دقت  $f_Y$  به دقت  $f_X$  نیز ارتباط دارد. به این ترتیب در روش مقایسه ایی دقت دستگاه اندازه گیری حذف می شود.

### مدولاسیون Z:

یکی دیگر از استفاده های اسیلوسکوپ، اندازه گیری فرکانس و یا کالیبره کردن فرکانس یک سیگنال ژنراتور با سیگنال

ژنراتور مبناء از طریق **Z - MODE** است. اسیلوسکوپ در صفحه نمایش می تواند تغییرات روشنایی را نشان دهد. اصطلاح محور Z، همان تغییرات روشنایی (INTENSITY MODULATION) است و توسط یک سوکت که در پشت دستگاه اسیلوسکوپ قرار گرفته است و به شبکه کنترل لامپ اشعه کاتدیک وصل است، انجام می شود. بامثبت تر کردن نسبی شبکه مذکور، نقطه نورانی روشن تر و با منفی تر کردن نسبی آن، نقطه نورانی کم نورتر و یا خاموش می شود. برای این کار ابتدا موج سینوسی را که می خواهیم فرکانس آنرا اندازه گیری بگیریم ( $f_X(\text{Source})$ ) بوسیله یک مقاومت و یک خازن روی اسیلوسکوپ یک بیضی می سازیم. سپس ولتاژ مربعی سیگنال ژنراتور مبنی بر ( $f_Z$ ) را به سوکت مدولاسیون Z وصل می کنیم. با تنظیم شدت روشنایی بازوی نورانی توسط اسیلوسکوپ و دامنه مناسب موج مربعی بیضی حاصل در نیم سیکل های مثبت موج مربعی، روشنتر و در نیم سیکل های منفی آن تاریکتر یا خاموش می شود. در این صورت نسبت دو فرکانس از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{f_z}{f_{X(Source)}} = K$$

$K =$  تعداد قطعات روشن

به همین روش می توان یک سیگنال ژنراتور را کالیبره کرد. (توجه: در صورتیکه قطعات روشن روی بیضی ثابت نمانده و تغییر وضعیت بدهند و فاصله زمانی جابجائی یک قطعه روشن با قطعه روشن قبلی  $N$  ثانیه باشد، در این صورت رابطه بین دو فرکانس بصورت زیر خواهد بود:

$$f_z = K \times f_{X(Source)} \pm \frac{N}{K}, \quad N = \text{تعداد دفعات تکرار در ثانیه}$$

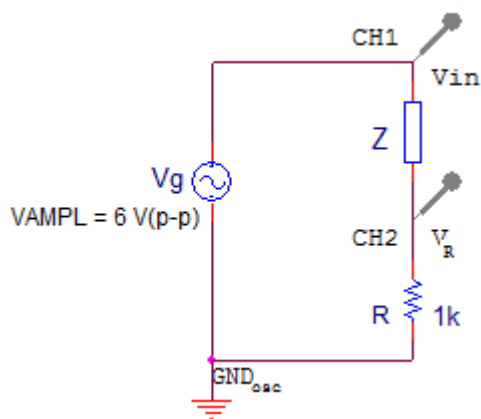
علامت  $\pm$  با توجه به نحوه تشکیل بیضی و جهت حرکت، قطعات روشن قابل تشخیص است.

(توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت، خازن و سلف دهنده استفاده نمایید.)

## شرح آزمایش

(۷-۱) اندازه گیری اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان دوسر مقاومت، خازن و سلف از طریق حوزه زمانی توسط اسیلوسکوپ.

مدار شکل زیر را بسته و ابتدا موج سینوسی با دامنه  $6 \text{ V(p-p)}$  به مدار اعمال کرده و سپس جدول را کامل نمایید.



| Sinuious Wave | $Z$                         | $F = 100\text{HZ}$<br>$\varphi^\circ = ?$ | $F = 1\text{ KHZ}$<br>$\varphi^\circ = ?$ | $F = 10\text{ KHZ}$<br>$\varphi^\circ = ?$ |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1             | $R = 20\text{K}\Omega$      |                                           |                                           |                                            |
| 2             | $C = 0.02\mu\text{F} (X_C)$ | _____                                     |                                           |                                            |
| 3             | $L = 1\text{ H} (X_L)$      |                                           |                                           | _____                                      |

## سؤال

(۱) در مرحله ۲، اختلاف فاز را از رابطه تئوری  $\tan \varphi = \frac{1}{\omega RC}$  بدست آورده و مقدار آنرا با مقادیر عملی و نتایج

بدست آمده در جدول مقایسه نمایید. علت تفاوت بین آنها را بطور دقیق توضیح دهید.

(۲) در مرحله ۳، اختلاف فاز را از رابطه تئوری  $\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$  بدست آورده و مقدار آنرا با مقادیر عملی و نتایج

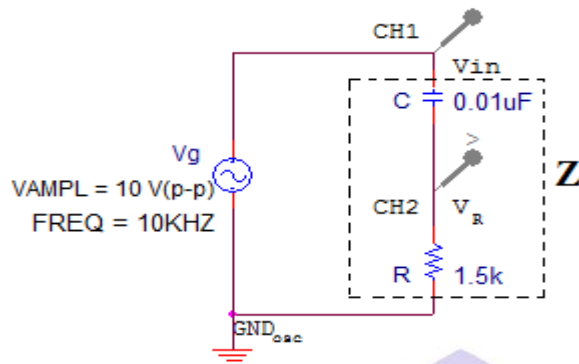
بدست آمده در جدول مقایسه نمایید. علت تفاوت بین آنها را بطور دقیق توضیح دهید.

(۳) در مرحله ۳ (وجود سلف) اثبات کنید که در فرکانس  $F = 1\text{ KHZ}$ ،  $R (= 1\text{ k}\Omega)$  می باشد.

(۴) در صورتیکه  $\omega RC \gg 1$  باشد، اختلاف فاز ولتاژ منبع و جریان مدار چه مقدار خواهد بود؟ با ذکر دلیل و رابطه.

## ۷-۲) اندازه گیری اختلاف فاز دو موج توسط اسیلوسکوپ و منحنی لیسازو (LISSAJOUS).

مدار شکل زیر را بسته و برای دیدن منحنی لیسازو، سلکتور **Time/Division** در حالت X-Y قرار دهید. سپس اختلاف فاز بین  $V_{in}$  و  $V_R$  را بدست آوری و منحنی لیسازو را رسم کنید.



|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| $f(KHZ)$                                         | 10 |
| $\phi^\circ = \sin^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$ |    |

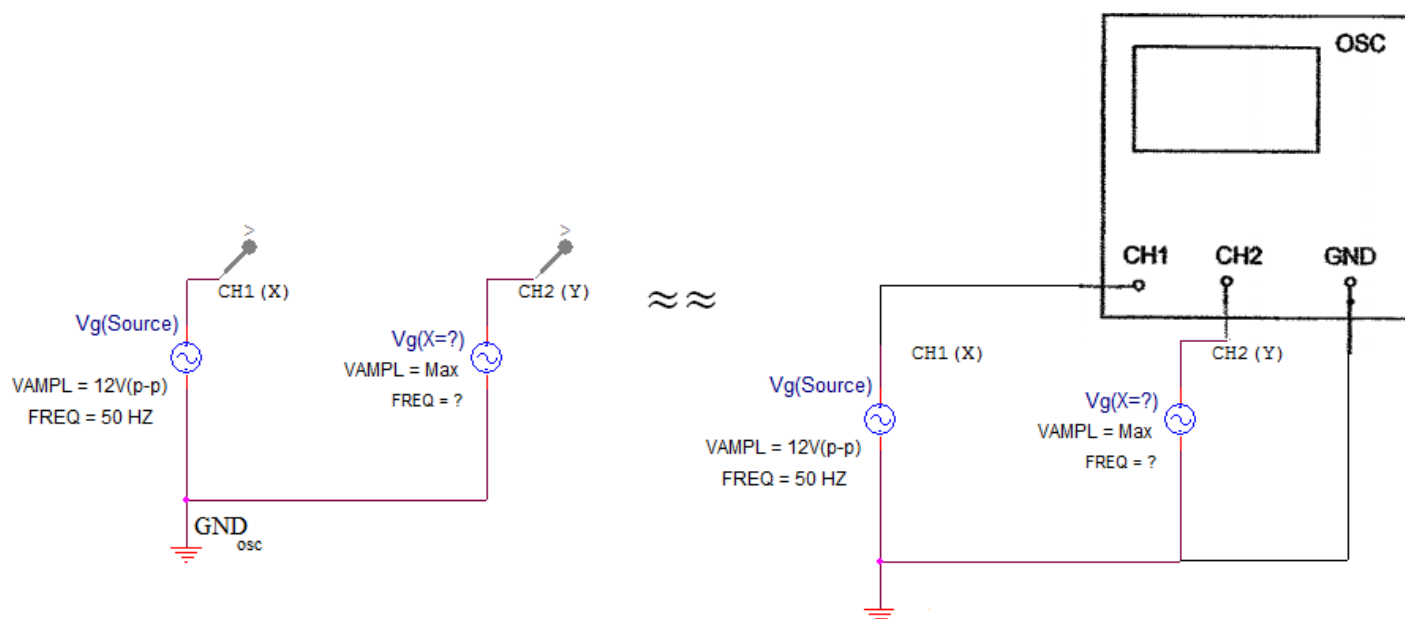
## سؤال

- در صورتیکه مقدار خازن بگونه ایی انتخاب شود که  $X_C \gg 1K\Omega$  شود، در این صورت چه تغییری در قطرهای منحنی بیضی شکل در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می شود؟ آیا می توان با این شیوه منحنی را به یک دایره تبدیل کرد؟
- علت اینکه می خواهیم این منحنی بیضی شکل از نظر ابعادی در صفحه نمایش اسکوپ بزرگ باشد، چیست؟

## ۷-۳) کالیبراسیون فرکانس یک سیگنال ژنراتور دیگر با استفاده از منحنی لیسازو.

مدار را مطابق شکل زیر بسته و با تغییر فرکانس فانکشن ژنراتور مبناء (Source) و روابط تئوری ذکر شده در قسمت یادآوری، فرکانس فانکشن ژنراتور مجهول را بدست آورید.

(توجه: در هر مرحله فرکانس  $f_g(Source)$  باید روی 50HZ باشد و تغییر نکند.)



|   | تنظیم شدن فرکانس فانکشن ژنراتور دوم برای حدود فرکانسهای زیر (HZ) | $f_{g(X)} = \frac{m}{n} \times f_g(\text{Source})$ یا $\frac{a}{b} \times f_g(\text{Source})$ (با استفاده از اسیلوسکوپ) | فرکانس فانکشن دوم $f_{g(X)}$ (فرکانس قرائت شده از روی فانکشن دوم) |
|---|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | 50                                                               |                                                                                                                         |                                                                   |
| 2 | 75                                                               |                                                                                                                         |                                                                   |
| 3 | 100                                                              |                                                                                                                         |                                                                   |
| 4 | 500                                                              |                                                                                                                         |                                                                   |
| 5 | 1000                                                             |                                                                                                                         |                                                                   |

### سؤال

۱) اگر پس از تثبیت شدن منحنی در طول مدت آزمایش بدون تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور مبناء ( $f_g(\text{Source})$ )،

منحنی شروع به حرکت و تغییر نماید چه علتی باعث این کار خواهد شد؟

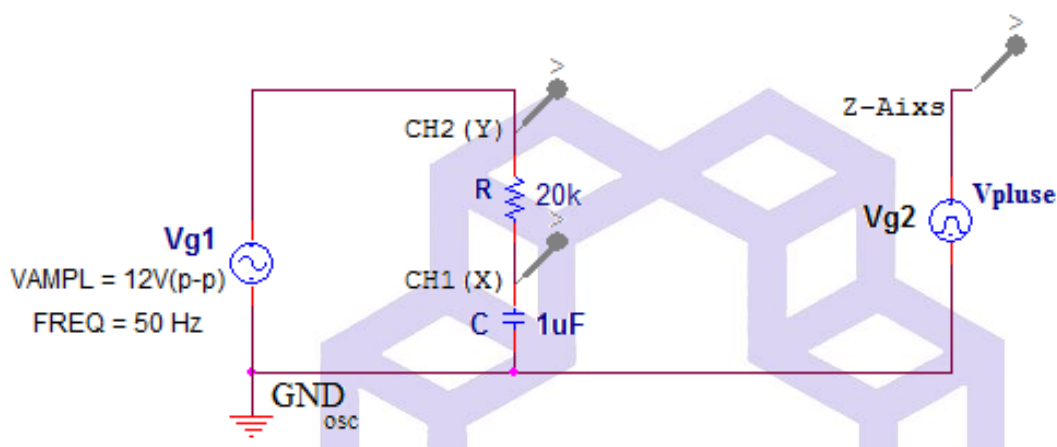
۲) اگر منحنی هر ۲ ثانیه یکبار تکرار شود ( $N = \frac{1}{2}$ ) و  $f_g(\text{Source}) = 50\text{ HZ}$  باشد، فرکانس سیگنال ژنراتور X چقدر

خواهد بود؟

۷-۴) کالیبراسیون فرکانس یک سیگنال ژنراتور دیگر با استفاده از ورودی **Z-axis** یا مدولاسیون شدت روشنایی (**MODE - Z**).

ابتدا از یک مقاومت و خازن، مداری برای ایجاد اختلاف فاز ۹۰ درجه استفاده کنید. سپس مدار را طبق شکل صفحه بعدی را بسته و سیگنال مولد موج مربعی را به ورودی **Z-axis** اعمال نمایید. موارد خواسته شده را در جدول یادداشت نمایید.

(توجه: در هر مرحله فرکانس  $f_g(\text{Source})$  باید روی 50Hz باشد و تغییر نکند).



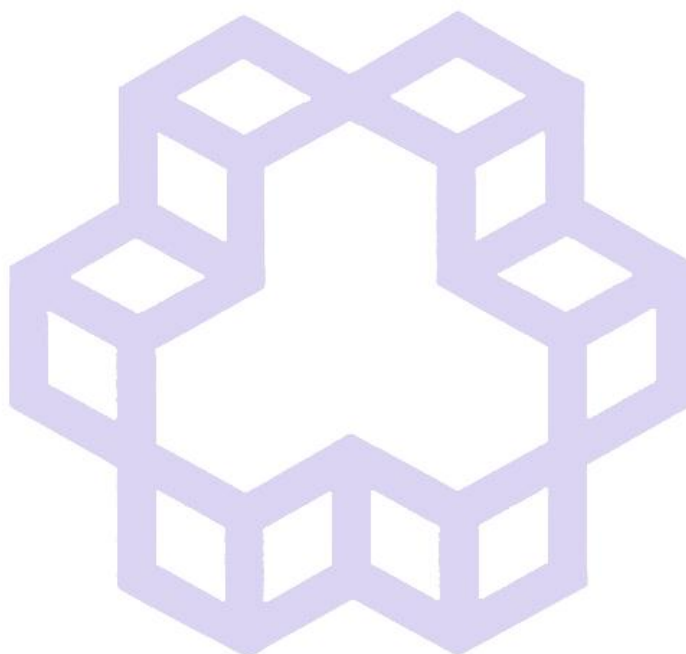
|                                                |    |     |     |      |
|------------------------------------------------|----|-----|-----|------|
| $f_{g(Z)}(HZ) \rightarrow \rightarrow \approx$ | 50 | 100 | 500 | 1000 |
| $f_{g(Z)} = K \times f_g(\text{Source})$       |    |     |     |      |
| $f_{g(Z)} =$                                   |    |     |     |      |
| فرکانس قرائت شده از روی مولد سیگنال دوم        |    |     |     |      |

### سؤال

۱) اگر فرکانس مولد موج مربعی نصف فرکانس سیگنال ژنراتور **Vg1** باشد، منحنی بیضی چگونه خواهد بود؟

۲) در این آزمایش اگر  $V_{g2}$  سینوسی باشد، و دامنه ولتاژ آن از نظر قطع بازوی الکترونی لامپ کاتدی اسکوپ نیز کافی باشد، به نظر شما نقاط روشن و تاریک روی منحنی لیسازور به چه صورت خواهد بود؟

۳) اگر زمان جابجایی یک قطعه روشن منحنی لیسازو با قطعه دیگر به اندازه 5S باشد، فرکانس واقعی  $V_{g2}$  در محدوده 50HZ چه مقدار می باشد؟ محاسبه کنید.



## آزمایش شماره ۸

### روش های اندازه گیری مقدار مقاومت

#### یادآوری

مقاومت یک عنصر الکتریکی دو پایه است که مطابق [قانون اهم](#) هنگامی که جریان الکتریکی از آن عبور کند بین پایه هایش اختلاف ولتاژ ایجاد میشود. شدت جریان عبوری از یک مقاومت رابطه مستقیمی با ولتاژ از دو سر آن دارد. این

رابطه توسط قانون اهم نمایش داده می شود:

$$I = \frac{V}{R}$$

در این معادله:  $R$  = مقاومت عنصر با واحد [اهم](#).  $V$  = [اختلاف پتانسیل](#) دو سر مقاومت با واحد [ولت](#).  $I$  = [جریان الکتریکی](#) عبوری از مقاومت با واحد [آمپر](#).

مقاومت ها از سری  $E_6, E_{12}, E_{24}, E_{48}, \dots$  تبعیت می کنند و بسته به کاربردشان دارای توان های متفاوتی هستند.

المانهای سری  $E$  از رابطه مقابل تبعیت می کنند.

$$R_i = K(\sqrt[5]{10^i}), i = 1 \rightarrow E$$

$E$ : مشخص کننده نوع سری مورد نظر و  $i$ : مشخص کننده چندمین المان مورد نظر می باشند.  $K$ : مضاربی از ۱۰ است که مقادیر ردیفهای مقاومت را مشخص می کند.

برای اندازه گیری مقدار مقاومت، می توان این روشها را پیشنهاد داد: الف) استفاده از انواع اهمترها ب) استفاده از روش مقایسه ای ج) اندازه گیری به روش جایگزینی توسط یک مقاومت معلوم د) اندازه گیری با استفاده از ولت متر و آمپر متر و پل اندازه گیری.

**نکته:** در تمامی مراحل این آزمایش باید دقت داشت که اهمترهایی که در قسمت معرفی دستگاه های اندازه گیری معرفی شده اند، باید قبل از هر مرحله آزمایش و تنظیمات مربوط به آنها انجام شود. بنابراین در ابتدا باید

\* برای اهم متر سری  $\Leftarrow \Leftarrow$  صفر مکانیکی عقربه اهم متر \* برای اهم متر موازی  $\Leftarrow \Leftarrow$  بی نهایت اهم متر

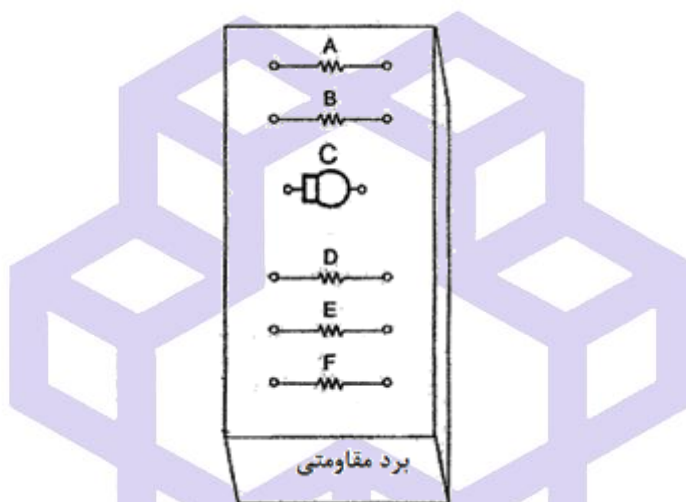
\* برای اهم متر موازی الکترونیکی  $\Leftarrow \Leftarrow$  ابتدا صفر الکترونیکی دستگاه روی یکی از رنج های غیر اهم و

سپس بی نهایت آن روی رنج اهم تنظیم شوند. دستگاه های دیجیتالی اغلب نیاز به تنظیم از خارج ندارند. همچنین از مقاومت های متغیر دهنده ی دقیق (با تolerانس خیلی کم) استفاده می شود.

## شرح آزمایش

### ۱-۸) اندازه گیری مقاومت توسط چند نوع اهمتر:

برد مقاومتی را برای انجام آزمایش بردارید و سپس مطابق جدول با استفاده از اهم مترهای نام برده، مقادیر مقاومتها را یادداشت نمایید.



| $R(\Omega)$              | A | B | C | D | E | F |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|
| اهم متر سری              |   |   |   |   |   |   |
| اهم متر موازی الکترونیکی |   |   |   |   |   |   |
| اهم متر دیجیتال          |   |   |   |   |   |   |
| پل اندازه گیری           |   |   |   |   |   |   |

### سؤال

۱) با توجه به رنج مقاومت های A تا F، هریک از اهمترها برای چه رنجی مناسب تر است؟

۲) به نظر شما مقاومت  $C$ ، چه وسیله ایی است؟

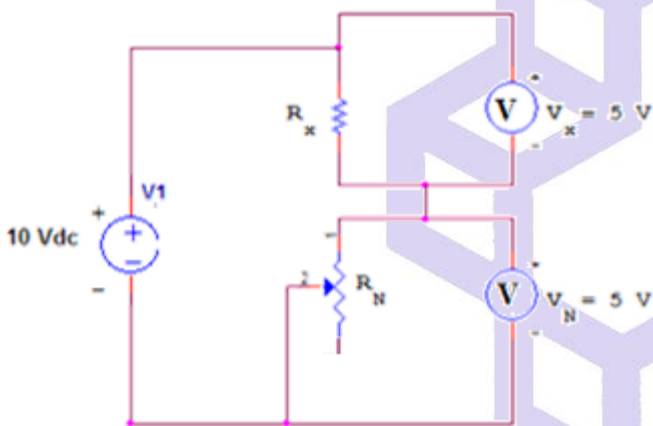
## ۲-۸) استفاده از روش مقایسه ایی:

مدار شکل زیر را با استفاده منبع ولتاژ D.C متغیر LEADER و برد مقاومتی ببندید. توجه داشته باشید که ولت‌مترهای مورد استفاده حتما از یک مدل باشند.

(توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت دهنده استفاده نمایید.)

مقدار  $R_X$ : مقدار مقاومت مجهول (مقاومت‌های روی برد مقاومتی) را با استفاده از مقاومت متغیر دهنده  $R_N$  و تنظیم آن بطوریکه هر دو ولت‌متر، در هر مورد عدد 5V را نشان دهند بدست آورید. بنابراین:

$$R_X = R_N$$



| $R_X(\Omega)$               | B | D | E | F |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| $V_X(V) = V_N(V)$           |   |   |   |   |
| $R_X(\Omega) = R_N(\Omega)$ |   |   |   |   |

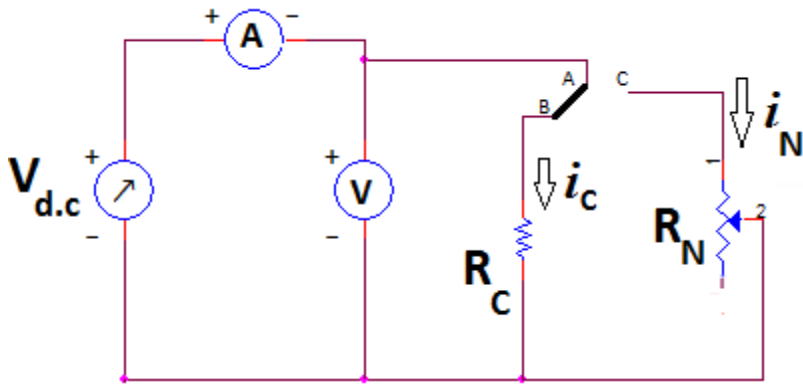
## سؤال

چرا باید ولت‌مترهای مورد استفاده در این آزمایش مشابه باشند؟

## ۳-۸) اندازه گیری به روش جایگزینی مقاومت مجهول توسط یک مقاومت معلوم:

آزمایش صفحه بعدی را با استفاده از مقاومت دهنده ( $R_N$ ) برای بدست آوردن مقدار مقاومت مجهول  $C$  روی برد مقاومتی که یک لامپ روشنایی است، انجام دهید.

(توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت دهنده استفاده نمایید.)



۱) در مرحله اول کلید را در حالت AB قرار دهید و با تنظیم  $V_{R_C}$ ،  $i_C$  را در جدول وارد کنید.

۲) در مرحله دوم کلید را در حالت AC قرار دهید و با تغییر مقاومت  $R_N$ ، مقدار جریان  $i_N$  را در هریک از ولتاژها به

اندازه  $i_C$  تنظیم کنید و مقادیر  $R_N$  حاصل را در جدول وارد کنید. بنابراین  $R_C = R_N$  خواهد بود.

|                      |   |    |    |    |    |
|----------------------|---|----|----|----|----|
| $V_{R_C} (V)$        | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| $i_C = i_N (mA)$     |   |    |    |    |    |
| $R_C = R_N (\Omega)$ |   |    |    |    |    |

### سؤال

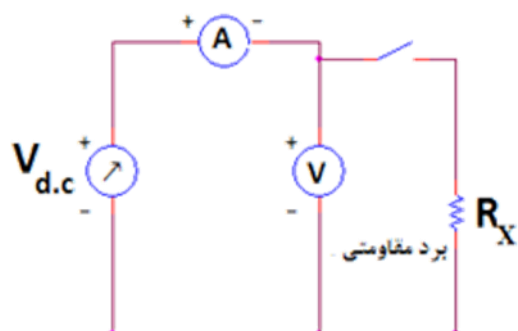
۱) صحت قانون اهم را در مقایسه با مقاومت  $R_C$  بین دو حالت  $V_{R_C} = 5V$  و  $V_{R_C} = 25V$  بررسی کنید و

علت را توضیح دهید.

۲) مقاومت  $R_C$  با خصوصیات فوق چه نوع مقاومتی است؟

۴-۸) اندازه گیری با استفاده از روش ولتمتر و آمپر متر:

مدار را مطابق شکل صفحه بعدی را با استفاده از برد مقاومتی ببندید و مراحل زیر را انجام دهید.



(۱) منبع DC متغیر را برای هر یک از مقاومت های خواسته شده ، روی 5V تنظیم کنید. سپس مقدار جریان قرائت شده از روی آمپر متر را در جدول یادداشت نمایید و سپس مقاومت  $R_X$  را در هر حالت محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

(به این نکات توجه نمایید: الف) از آمپرسنج آنالوگ کنید. ب) رنج آمپر متر DC را برای مقاومت B، روی 300mA و برای مقاومت D، روی 30mA و برای مقاومت E، روی 1mA و برای مقاومت F، روی 10μA قرار دهید. همچنین برای تغییر رنج آمپر متر کلید مدار را قطع کرده و پس از تغییر رنج آمپر متر و تغییر مقاومت، کلید را وصل کنید. ج) رنج ولت متر را روی 10V قرار دهید. ضمناً فقط برای مقاومت F حساسیت ولت متر روی 100V/KΩ است.) (توجه داشته باشید که در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت دهنده استفاده نمایید.)

| $R_X$             | B | D | E | F |
|-------------------|---|---|---|---|
| $V_{R_X}(V)$      | 5 | 5 | 5 | 5 |
| $I(mA) = ?$       |   |   |   |   |
| $R_X(\Omega) = ?$ |   |   |   |   |

### سؤال

(۱) علت اینکه مقدار مقاومت F زمانی که حساسیت ولت متر روی 10V/KΩ قرار گرفته باشد، نصف روشهای قبل بدست می آید را بیان کنید؟

(۲) با توجه به تشخیص علت در سؤال ۱، برای اندازه گیری ولتاژ بین دو نقطه از مدار چه پیشنهادی را ارائه می دهید؟

## آزمایش شماره ۹

### اندازه گیری توان تک فاز

#### یادآوری

**برق تکفاز:** برق تکفاز شهری دارای ۲ رشته سیم با نام های فاز و نول که ولتاژ سیم فاز نسبت به نول، ۲۲۰ ولت متناوب با شکل موج سینوسی و فرکانس 50HZ است. برق تکفاز بیشتر برای مصرف کنندگان خانگی، اداری و کارگاهی با توانهای پایین کاربرد دارد.

توان الکتریکی از حاصل ضرب ولتاژ در جریان مصرف کننده (بار) بدست می آید که در جریان A.C دارای تعاریف زیر است:

توان لحظه ای : با واحد وات (WATT)  $P = v \times i$

توان اکتیو (واته) : با واحد وات (WATT)  $P = V \times I \times \cos(\varphi)$

توان راکتیو (دواته) : با واحد وات (VAR)  $P = V \times I \times \sin(\varphi)$

توان ظاهری : با واحد ولت آمپر (VA)  $S = V \times I$

زاویه  $\varphi$ ، اختلاف فاز جریان با ولتاژ مصرف کننده است.

برای بار مقاومتی:  $\varphi = 0$  است که در این حالت جریان و ولتاژ هم فاز هستند.

برای بارهایی که ترکیبی از مقاومت، سلف و خازن هستند:  $\varphi \neq 0$  در این حالت جریان و ولتاژ هم فاز نیستند.

برای بار سلفی،  $V_L = L \times \frac{dI}{dt}$  است. (یعنی سلف، جریان را نسبت به ولتاژ  $90^\circ$  عقب می اندازد = پس فاز =

LAG) و برای بار خازنی،  $I_C = C \times \frac{dV}{dt}$  است. (یعنی خازن، جریان را نسبت به ولتاژ  $90^\circ$  جلو می اندازد =

پیش فاز = LEAD).

برای بارهای مقاومتی - سلفی:  $0 < \varphi < 90^\circ$  پس فاز است.

برای بارهای مقاومتی - خازنی:  $0 < \varphi < 90^\circ$  پیش فاز است.

**توان اکتیو (P) (مؤثر):** در مدارهای الکتریکی توان اکتیو  $P = V \times I \times \cos(\varphi)$ ، توانی است که کار موثر را انجام می دهد. به عبارت دیگر، تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی های دیگر توسط این توان قابل توجیه است. این توان متوسط لحظه ایی است.

$$P = VI \cos(\varphi) \begin{cases} \text{برای بار مقاومتی} = R \Rightarrow \varphi = 0 \Rightarrow P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2 R \\ \text{برای بار سلفی یا خازنی} = Z \xrightarrow{(R+jX)} \varphi = 90^\circ \Rightarrow P = 0 \\ \text{برای بار ترکیبی} = Z \xrightarrow{(R+jX)} \varphi \neq 0 \Rightarrow P = VI \cos(\varphi) = \frac{V_R^2}{R} = I^2 R \end{cases}$$

$\cos(\varphi)$  را ضریب توان یا Power Factor می نامند که مقدار آن بین 0 تا 1 تغییر می کند.

**توان راکتیو (غیر مؤثر):** در عناصر راکتیو نظیر مقاومت های سلفی و خازنی، توان غیر موثری ظاهر می شود که نمی توان، آنرا به کار مفید تبدیل کرد. این توان به صورت موج سینوسی بین مصرف کننده و شبکه، رفت و برگشت می کند و کاری انجام نمی دهد. یعنی در یک نیم سیکل انرژی را گرفته و در نیم سیکل دیگر، آنرا پس می دهد.

$$Q = \pm VI \sin(\varphi) \begin{cases} \text{برای بار مقاومتی} = R \Rightarrow \varphi = 0 \Rightarrow Q = 0 \\ \text{برای بار سلفی یا خازنی} = Z \xrightarrow{(jX)} \varphi = \pm 90^\circ \Rightarrow Q = \pm VI = \frac{V^2}{X} = I^2 X \\ \text{برای بار ترکیبی} = Z \xrightarrow{(R+jX)} 90^\circ > \varphi > -90^\circ \Rightarrow Q = \pm VI \sin(\varphi) = \frac{V_X^2}{X} = I^2 X \end{cases}$$

دقت داشته باشید که سلف، مصرف کننده بار راکتیو و خازن، تولید کننده بار راکتیو می باشند.

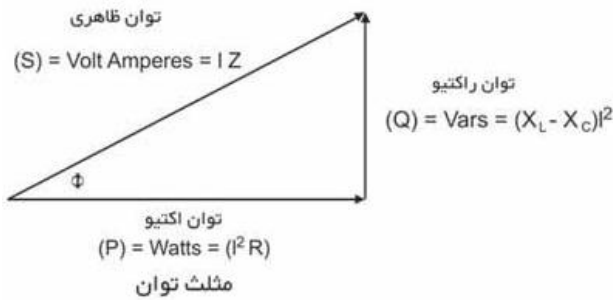
**توان ظاهری (S):** حاصلضرب ولتاژ و جریان موثر را توان ظاهری می گویند.

$$S = V \times I$$

در کلیه موارد، رابطه زیر بین مقادیر P، Q و S برقرار است:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (V \times I)^2$$

به مثلث قائم الزاویه که اضلاع آن  $P$ ،  $Q$  و  $S$  هستند، مثلث توان گفته می شود.



در تمام مراحل آزمایش از برد لامپ های مخصوص تک فاز به عنوان بار اهمی، خازن و سلف مخصوص  $220V$  برق شهر در حالتیکه رنج سلکتور آنها روی 3 می باشد استفاده کنید.



## شرح آزمایش

این آزمایش با دو سری از دستگاههای معرفی شده انجام می شود.

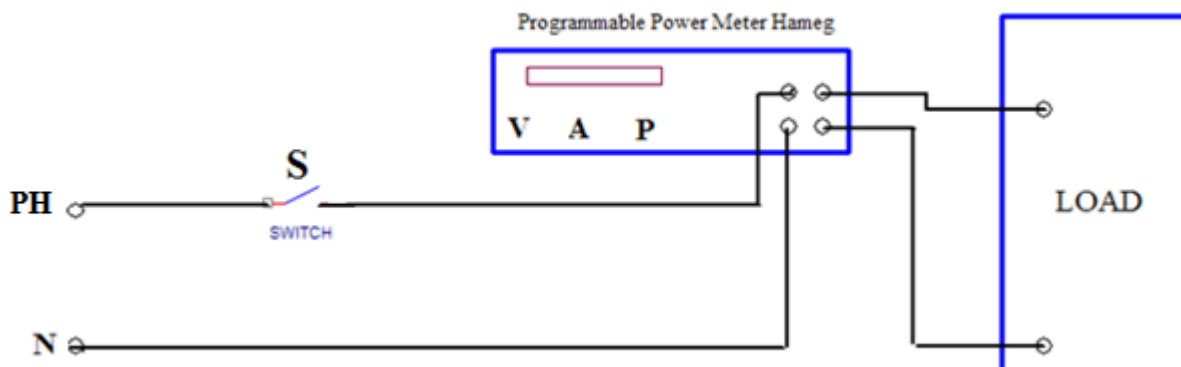
### ۹-۱) توان سنج تکفاز دیجیتالی Programmable Power Meter Hamag:

**توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.**

دقت داشته باشید این دستگاه تمام مقادیر ولتاژ، جریان، توان ظاهری (توان کل)، توان اکتیو، توان راکتیو و ضریب توان یا

Power Factor را نشان می دهد و تنها باید رنج ولتметр و آمپر متر آن، در حالت AUTO قرار گیرند.

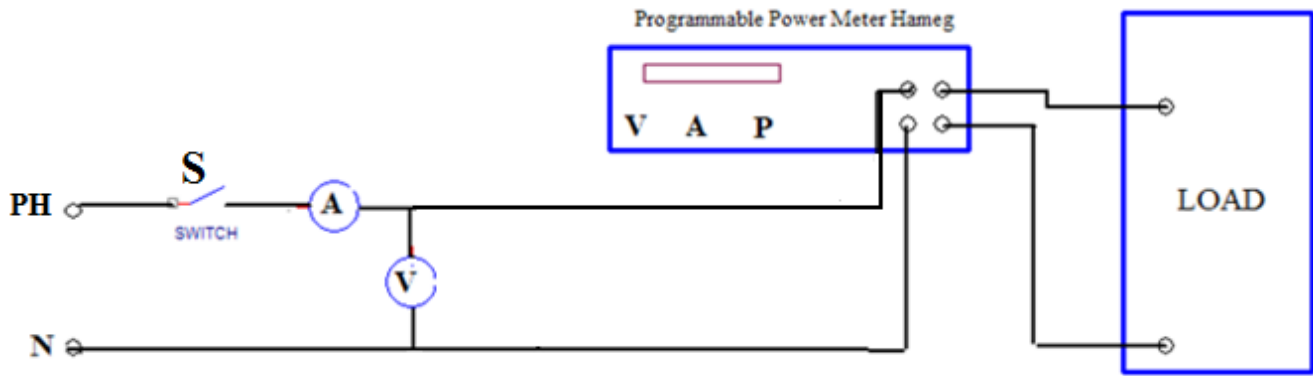
مدار شکل زیر را ببینید و موارد خواسته شده در جدول را یادداشت کنید.



|   | Load=Z              | I(A) | V(V) | P (WATT) | Q(VAR) | PF = $\cos(\varphi)$ | $\varphi^\circ$ |
|---|---------------------|------|------|----------|--------|----------------------|-----------------|
| 1 | اهمی                |      |      |          |        |                      |                 |
| 2 | سلفی                |      |      |          |        |                      |                 |
| 3 | خازنی               |      |      |          |        |                      |                 |
| 4 | سلفی - اهمی<br>سری  |      |      |          |        |                      |                 |
| 5 | خازنی - اهمی<br>سری |      |      |          |        |                      |                 |

۹-۲) مدار شکل صفحه بعدی را با استفاده از آمپر متر ، ولت متر شرکت YOKOGAWA ELECTRIC قبل از توان سنج دیجیتالی ببندید. طبق جدول داده شده، آزمایش را فقط برای ردیف اول یعنی بار اهمی، تکرار کنید. مقادیر ولتاژ، آمپر و.... سنجیده شده توسط دستگاههای آنالوگ را با دیجیتالی مقایسه کنید. سپس خطای P و Q را بدست آورید.

**توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.**



$$\% \xi P = \left| \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right| \times 100$$

$P_1$  = سنجش توسط دستگاه آنالوگ .

$P_2$  = سنجش توسط دستگاه دیجیتال .

| نوع دستگاه | Load=Z | I(A) | V(V) | P (WATT) | $\% \xi P$ |
|------------|--------|------|------|----------|------------|
| آنالوگ ۱)  | اهمی   |      |      |          | ?          |
| دیجیتال ۲) | اهمی   |      |      |          |            |

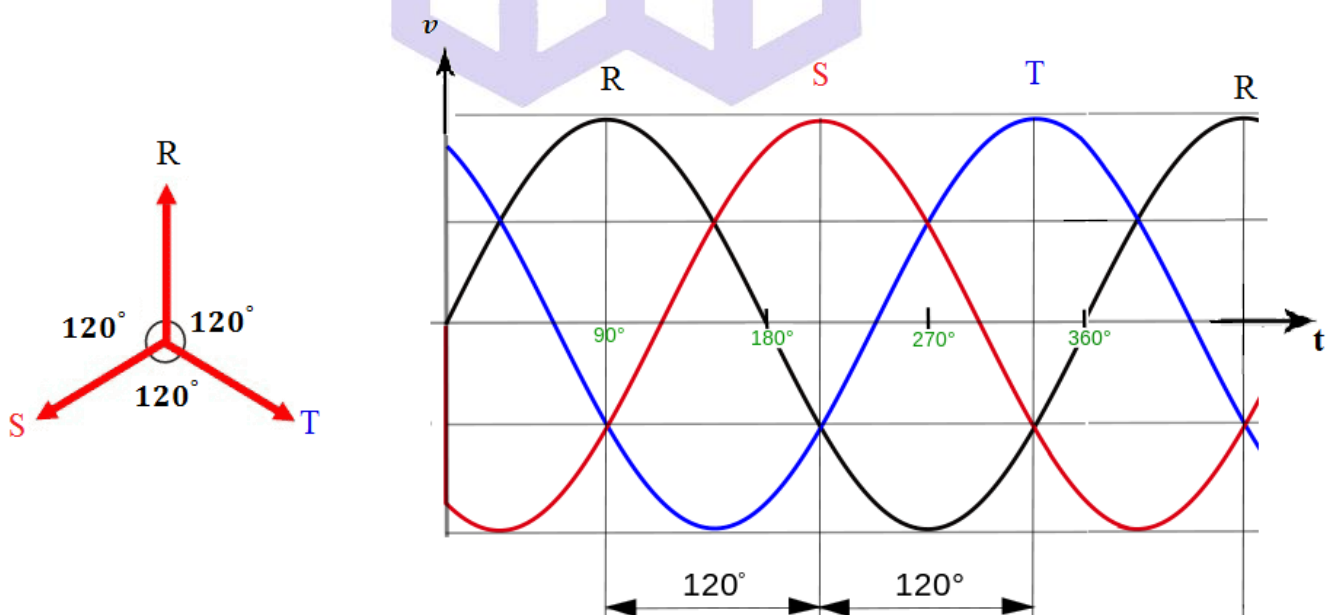
## آزمایش شماره ۱۰

### اندازه گیری توان سه فاز

#### یادآوری

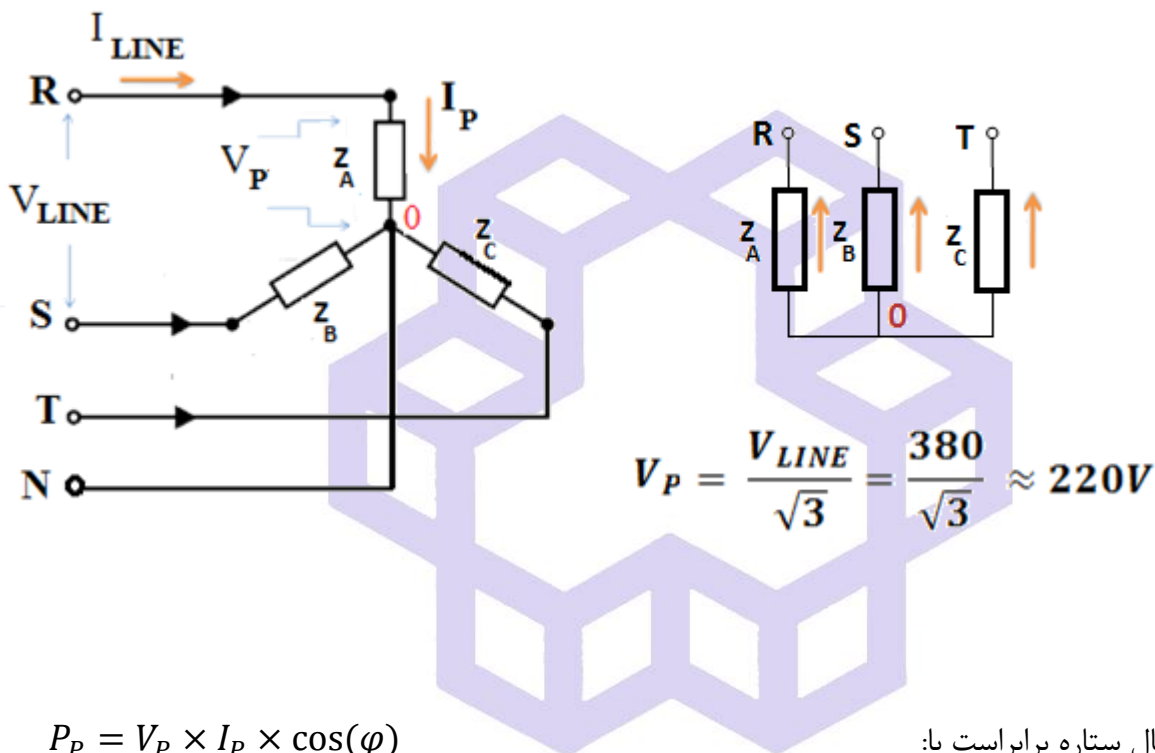
**برق سه فاز:** در برق سه فاز شهری ۴ سیم وجود دارد. یکی نول و سه سیم دیگر فاز، که هر یک دارای ۲۲۰ ولت اختلاف پتانسیل نسبت به سیم نول هستند و اصطلاحاً به آن ولتاژ فاز  $V_P$  می گویند. ولتاژ هر فاز نسبت به فاز قبلی دارای  $120^\circ$  اختلاف فاز (پس فاز) است و آنها را با  $V_R$ ،  $V_S$  و  $V_T$  نمایش می دهند. ولتاژ بین دو فاز را اصطلاحاً ولتاژ خط ( $V_L$ ) می نامند ( $V_{R-S}$ ،  $V_{S-T}$ ،  $V_{T-R}$ ، ...). در سیستم سه فازه ای که  $V_{RS} = V_{ST} = V_{TR}$  باشد، داریم  $V_L = \sqrt{3} V_P$  که به چنین سیستم سه فازه ای، سیستم سه فازه متقارن می گویند. در سیستم سه فازه دو نوع اتصال داریم: (۱) اتصال ستاره (۲) اتصال مثلث. که هر کدام از این اتصال ها، کارائی خاص خود را دارند و تفاوت این دو اتصال، در نحوه اتصال مصرف کننده ها است.

از برق سه فاز برای توانهای بالا و در صنعت استفاده می شود. همچنین با توجه به اینکه برای ایجاد دوران اتوماتیک در موتورهای القائی نیاز به دو فاز و بیشتر داریم، توسط آن می توان میدان دوار ایجاد نمود و موتورهای القائی را راه اندازی کرد. شکل زیر تابع زمانی و فرم برداری سه فازه متقارن را نشان میدهد:



## اتصال ستاره (Y):

در این نوع اتصال امپدانس  $Z_R$ ،  $Z_S$  و  $Z_T$  در یک نقطه به همدیگر متصل می شوند که به آن نقطه صفر اتصال ستاره می گویند و سر دیگر امپدانس ها به فازهای S، R و T وصل می شوند. اگر مصرف کننده های سه فاز مثل هم باشند ( $Z_T = Z_S = Z_R$ ) در این حالت سیستم را سه فازه با بار متعادل می نامند. در این حالت نیازی به اتصال نقطه صفر ستاره به سیم نول وجود ندارد. زیرا:  $\vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T = 0$  است و از سیم نول جریانی عبور نخواهد کرد. با توجه به شکل زیر داریم:



$$P_P = V_P \times I_P \times \cos(\varphi)$$

قدرت هر فاز در اتصال ستاره برابر است با:

$$P = 3P_P = 3V_P \times I_P \times \cos(\varphi) = \sqrt{3} V_L \times I_L \times \cos(\varphi)$$

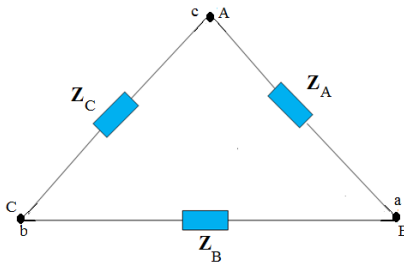
و قدرت کل برابر است با:

**خصیصه عمومی بارهای متعادل اینست که در آنها توانهای اکتیو و راکتیو در هر سه فاز، یکسان خواهند بود.**

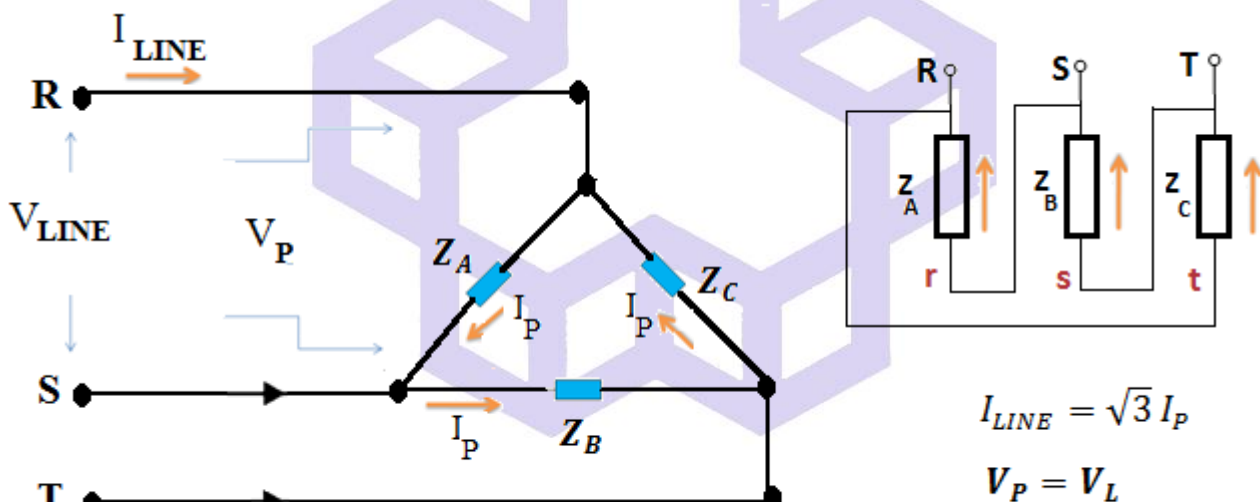
ولی چنانچه در اتصال ستاره از فازهای مختلف، بارهای مختلفی گرفته شود در این صورت سیستم به صورت سه فازه نامتعادل در خواهد آمد. در این حالت اگر مصرف کننده های ۲۲۰ ولتی مثل شبکه خانگی، مساوی نباشند باید حتماً نقطه صفر اتصال به سیم نول وصل شود. در غیر اینصورت به علت اینکه ولتاژ بعضی از فازها نسبت به نقطه صفر بیشتر و بعضی کمتر از ۲۲۰ ولت می شود، مصرف کننده ها خسارت خواهند دید.

## اتصال مثلث یا دلتا (V):

در این اتصال انتهای امپدانس بار یک فاز به ابتدای امپدانس بار فاز بعد متصل می گردد تا تشکیل یک حلقه بسته به شکل مثلث بدهد. رئوس این مثلث جهت تغذیه به فازهای R، S و T وصل می شوند.



در این اتصال نیازی به سیم نول وجود ندارد. لذا به این اتصال، اتصال سه سیمه نیز گفته می شود. اگر مصرف کننده های بار مثلثی باهم برابر باشند ( $Z_A = Z_B = Z_C$ ) در این حالت سیستم را سه فازه با بار متعادل می نامند. با توجه به شکل زیر داریم:



$$P_P = V_P \times I_P \times \cos(\varphi)$$

قدرت هر فاز در اتصال مثلث برابر است با:

$$P = 3P_P = 3V_P \times I_P \times \cos(\varphi) = \sqrt{3} V_L \times I_L \times \cos(\varphi)$$

و قدرت کل برابر است با:

علاوه بر این همان روابطی را که برای توان حقیقی (اکتیو) در اتصال ستاره و مثلث وجود دارد، برای توان ظاهری و راکتیو نیز می توان نوشت:

$$P_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \cos(\varphi) \quad , \quad Q_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \sin(\varphi)$$

$$S_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \quad , \quad S_{Y,\Delta} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

توجه: در صورتیکه مجاز باشیم همان بارهای اتصال ستاره را بصورت مثلث به منبع سه فازه وصل کنیم، چون ولتاژ دو سر بارها  $\sqrt{3}$  برابر افزایش یافته و جریان بارها نیز  $\sqrt{3}$  برابر افزایش می یابد، در نتیجه توان مصرفی این حالت، ۳ برابر حالت ستاره خواهد بود.

در تمام مراحل آزمایش از توان سنج سه فاز دیجیتالی (Power Analyzer Lutron DW-6092)، برد لامپ های مخصوص سه فاز (دو تا لامپ 200w که سری بسته شده اند) به عنوان بار اهمی، خازن و سلف مخصوص 220V استفاده کنید. دقت کنید خروجی فازهای R, S, T از کلید S به ترتیب پس از عبور از داخل حلقه های ترانسفورماتورهای انبری جریان (C.T= Currant Transformer) A1, A2, A3 و همچنین خروجی ترمینال های V1, V2, V3 این توان سنج به سر اولیه بار سه فازه و N آن به نول برق شهر وصل شوند.



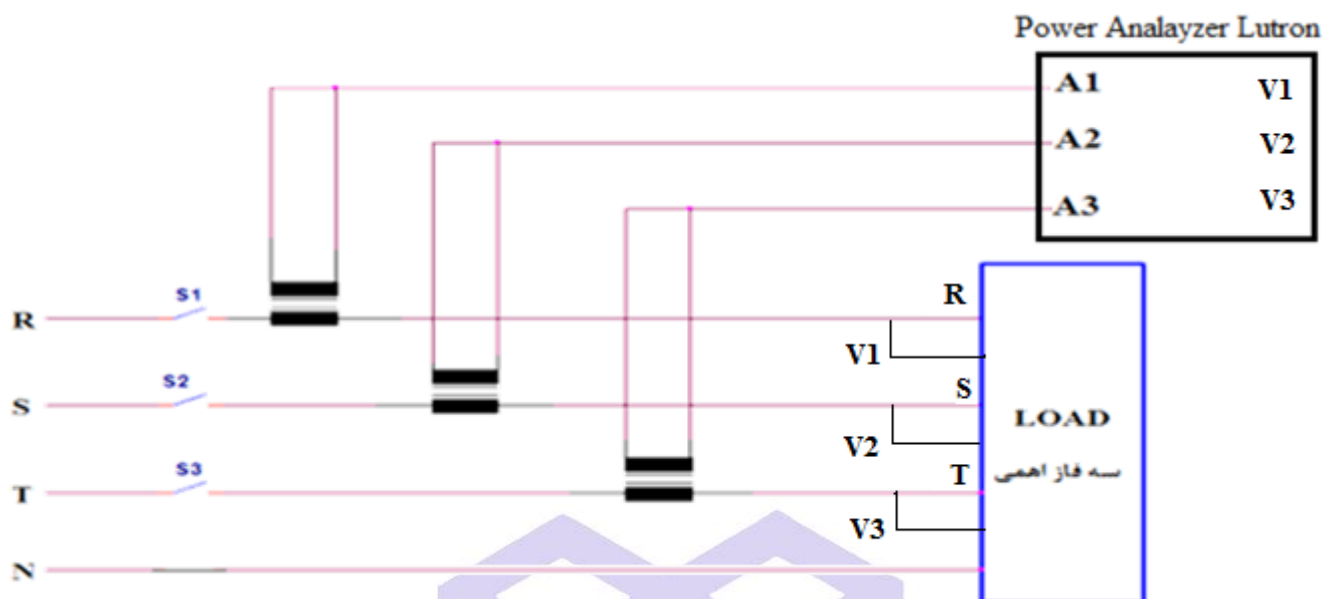
## شرح آزمایش

### ۱-۱) اتصال ستاره:

مداری مطابق شکل صفحه بعد ببندید. بار سلفی - اهمی سری یا خازنی - اهمی سری را بصورت ستاره ببندید. سپس با تغییر سلکتور سلف یا خازن از وضعیت ۱ تا ۴:

الف) مقادیر ولتاژها، جریان ها و  $\cos(\varphi)$  های هر فاز را توسط توان سنج خوانده و توان های مربوطه را محاسبه و در جداول زیر یادداشت کنید.

توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.



| رنج سلکتور | $V_R$ | $I_R$ | $\cos(\varphi_R)$ | از طریق محاسبه |       |
|------------|-------|-------|-------------------|----------------|-------|
|            |       |       |                   | $P_R$          | $Q_R$ |
| 1          |       |       |                   |                |       |
| 2          |       |       |                   |                |       |
| 3          |       |       |                   |                |       |

| رنج سلکتور | $V_S$ | $I_S$ | $\cos(\varphi_S)$ | از طریق محاسبه |       |
|------------|-------|-------|-------------------|----------------|-------|
|            |       |       |                   | $P_S$          | $Q_S$ |
| 1          |       |       |                   |                |       |
| 2          |       |       |                   |                |       |
| 3          |       |       |                   |                |       |

| از طریق محاسبه | $\cos(\varphi_T)$ | $I_T$ | $V_T$ | رنج سلکتور |
|----------------|-------------------|-------|-------|------------|
|                |                   |       |       |            |
|                |                   |       |       | 1          |
|                |                   |       |       | 2          |
|                |                   |       |       | 3          |

$$P_{Total1} = P_R + P_S + P_T \quad , \quad Q_{Total1} = Q_R + Q_S + Q_T$$

| از طریق محاسبه | رنج سلکتور | $P_{Total1}$ | $Q_{Total1}$ |
|----------------|------------|--------------|--------------|
|                |            |              |              |
|                | 1          |              |              |
|                | 2          |              |              |
|                | 3          |              |              |

ب) توان های اکتیو و راکتیو هر فاز را مستقیماً توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت کنید.

| قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| رنج سلکتور                          | $P_R$ | $P_S$ | $P_T$ | $Q_R$ | $Q_S$ | $Q_T$ |
| 1                                   |       |       |       |       |       |       |
| 2                                   |       |       |       |       |       |       |
| 3                                   |       |       |       |       |       |       |

$$P_{Total2} = P_R + P_S + P_T \quad , \quad Q_{Total2} = Q_R + Q_S + Q_T$$

| از طریق محاسبه |              |              |
|----------------|--------------|--------------|
| رنج سلکتور     | $P_{Total2}$ | $Q_{Total2}$ |
| 1              |              |              |
| 2              |              |              |
| 3              |              |              |

ج) توان اکتیو و راکتیو کل مدار را مستقیماً توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت کنید.

| قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج |             |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| رنج سلکتور                          | $P_{Total}$ | $Q_{Total}$ |
| 1                                   |             |             |
| 2                                   |             |             |
| 3                                   |             |             |

### سؤال

با مقایسه توان قسمتهای (الف) و (ب) با قسمت (ج)، فقط در رنج ۳ سلکتور انتخاب کننده، درصد خطاها را محاسبه کنید.

$$\% \xi P_{Total1} = \left| \frac{P_{Total1} - P_{Total}}{P_{Total}} \right| \times 100 \quad , \quad \% \xi Q_{Total1} = \left| \frac{Q_{Total1} - Q_{Total}}{Q_{Total}} \right| \times 100$$

$$\% \xi P_{Total2} = \left| \frac{P_{Total2} - P_{Total}}{P_{Total}} \right| \times 100 \quad , \quad \% \xi Q_{Total2} = \left| \frac{Q_{Total2} - Q_{Total}}{Q_{Total}} \right| \times 100$$

## ۲-۱۰) اتصال مثلث (بار متعادل):

بار سلفی - اهمی سری یا خازنی - اهمی سری را بصورت مثلث، **فقط** در وضعیت ۳ سلکتور مورد نظر ببینید. مقادیر توان های اکتیو و راکتیو کل را **مستقیماً** توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت نمایید.

(در حالت مثلث مصرف کننده نیازی به سیم نول ندارد.)

| قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج |             |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| رنج سلکتور                          | $P_{Total}$ | $Q_{Total}$ |
| 3                                   |             |             |

## سؤال

توان های جدول فوق (حالت مثلث) با توان های نظیرشان در حالت ستاره **فقط مربوط به قسمت ج** را مقایسه کرده و علت تفاوت را با ذکر دلیل شرح دهید.

## ۳-۱۰) اتصال مثلث (بار نامتعادل):

در این حالت بار بین فازهای R و S را از مدار خارج کنید و مقادیر توان های اکتیو و راکتیو کل را **مستقیماً** توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت نمایید.

| قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج |             |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| رنج سلکتور                          | $P_{Total}$ | $Q_{Total}$ |
| 3                                   |             |             |

## سؤال

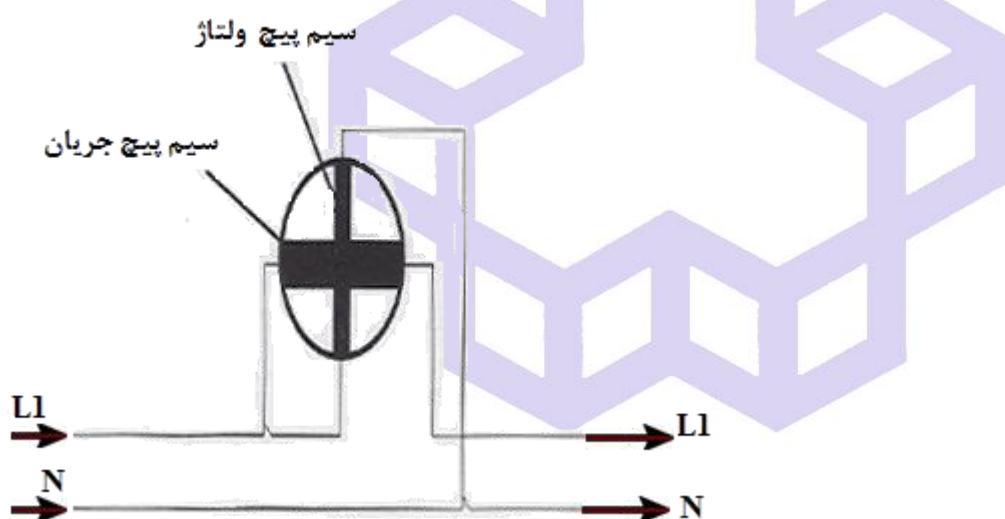
توان های جداول دو حالت (۲-۱۰) و (۳-۱۰) را با یکدیگر مقایسه کرده و علت تفاوت را با ذکر دلیل شرح دهید.

## آزمایش شماره ۱۱

## اندازه گیری مقدار انرژی توسط کنتور یک فاز – کنتور سه فاز

## یادآوری

انرژی برابر است با مقدار توان مصرفی یا تولیدی در طول زمان، یعنی  $W = P \times t$ . واحد انرژی یا کار (W) ژول و واحد زمان (T) ثانیه است. برای اندازه گیری انرژی الکتریکی از کنتور اندوکسیونی استفاده می شود. اصول کار کنتورها مبتنی بر اصول کار موتورهای القایی است. این کنتورها دارای سیم پیچ جریان (با دور کم و قطر بیشتر) و یک سیم پیچ ولتاژ (با قطر کم و دور بیشتر) هستند که وقتی در مدار مصرف کننده قرار می گیرند موجب گردش یک صفحه آلومینیومی دوار حول محورش می شود و سپس گردش این صفحه توسط چرخ دنده ایی به شماره انداز منتقل می شود یا بدین ترتیب اعداد شماره انداز، نماینده  $W = \int_0^t P dt$  است. مقدار انرژی الکتریکی از روی کنتور محاسبه می شود. کنتورها بر اساس نحوه کاربری آنها، می توانند تکفاز یا سه فاز باشند.



در کنتور ها انرژی مصرفی بر حسب کیلو وات ساعت (kwh) سنجیده می شود.

سرعت دور گردش صفحه آلومینیومی دوار با  $P = V \times I \times \cos(\varphi)$  متناسب است. در روی صفحه هر کنتور، مشخصات ثابت نامی آن توسط سازنده درج شده است که عبارتند از: نوع یا کلاس کنتور، فرکانس، ولتاژ و جریان نامی آن و همچنین مقدار انرژی نامی یک دور از صفحه دوار ( $C_n$ ). برای تعیین خطای یک کنتور ( $C$ ) در جریان های مختلف از یک ولتمتر، آمپر متر دقیق و یک کرومومتر استفاده می نماییم. در نتیجه با ثبت زمان  $t$  مربوط به  $n$  دور از

$$C = \frac{P \times t}{n}$$

صفحه دوار، انرژی مربوط به یک دور صفحه دوار را اندازه می گیریم. پس:

t: زمان کار کنتور بر حسب ثانیه. n: تعداد دور کنتور در زمان t. P: توان یا قدرت مصرف شده.

C: انرژی مصرفی به ازاء یک دور.

حال با مقایسه  $C_n$  کنتور با C، خطای کنتور به شرح زیر بدست می آید:

$$\Delta C = |C_n - C|$$

خطای مطلق کنتور:

$$\% \beta = \left| \frac{C_n - C}{C_n} \right| \times 100$$

خطای نسبی کنتور:

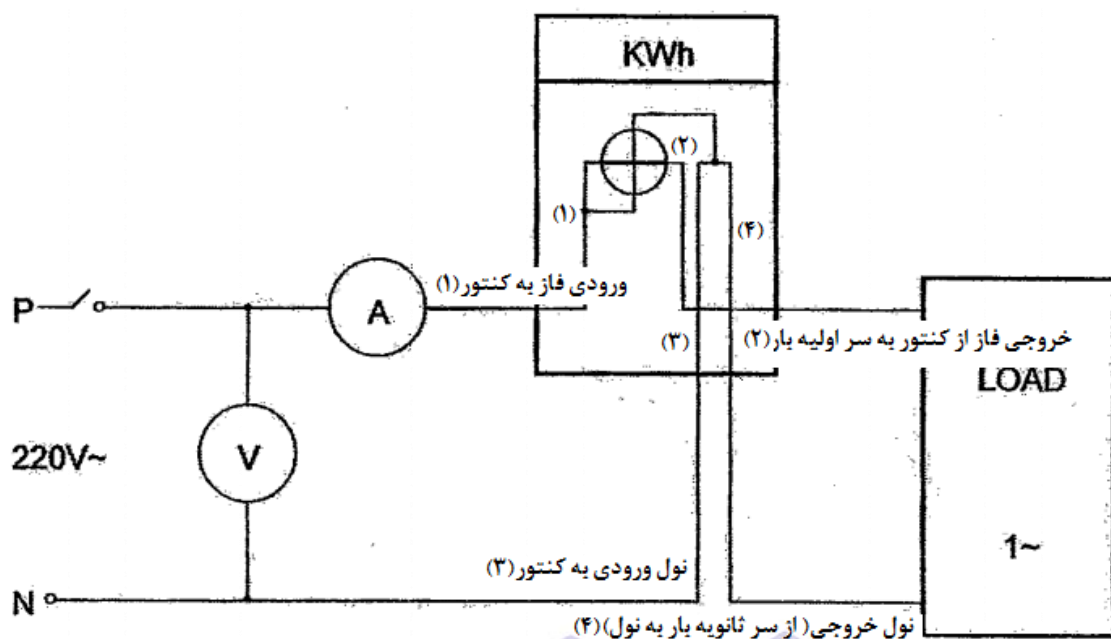
## شرح آزمایش

### ۱-۱) کنتور تکفاز:

مدار صفحه بعدی را بسته و برای  $n=5$  (۵ دور چرخش صفحه مدور کنتور) تمام موارد خواسته شده را در جدول ثبت نمایید.

(در این آزمایش منظور از LOAD بار سه فاز متغیر می باشد و اندازه گیری زمان با یک کرونومتر انجام می شود.)

**توجه:** قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.



| $I_{PH}(A)$                 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| $V_{PH}(V)$                 |   |   |   |   |
| $t_{for\ n=5}(s)$           |   |   |   |   |
| $C_n$ = (کننتور تکفاز) ثابت |   |   |   |   |
| $C$                         |   |   |   |   |
| $\Delta C$                  |   |   |   |   |
| $\% \beta$                  |   |   |   |   |

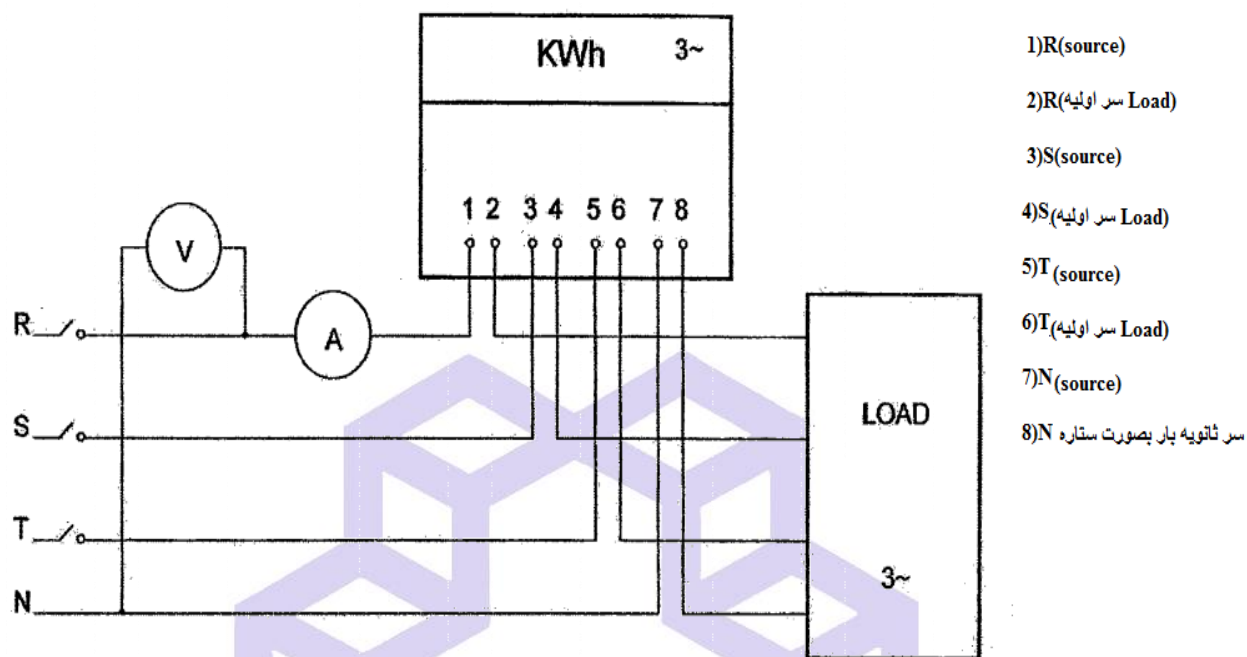
## ۲-۱۱) کننتور سه فاز:

مدار صفحه بعدی را بسته و برای  $n=5$  (۵ دور چرخش صفحه دوارکننتور) تمام موارد خواسته شده را در جدول مشابه آزمایش قبل، ثبت نمایید.

(در این آزمایش منظور از **LOAD** بار یک فازاهمی متغیر است که به صورت ستاره بسته می شود و همچنین اندازه

گیری زمان با یک کرومومتر انجام می شود).

توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.



$$P = 3VI$$

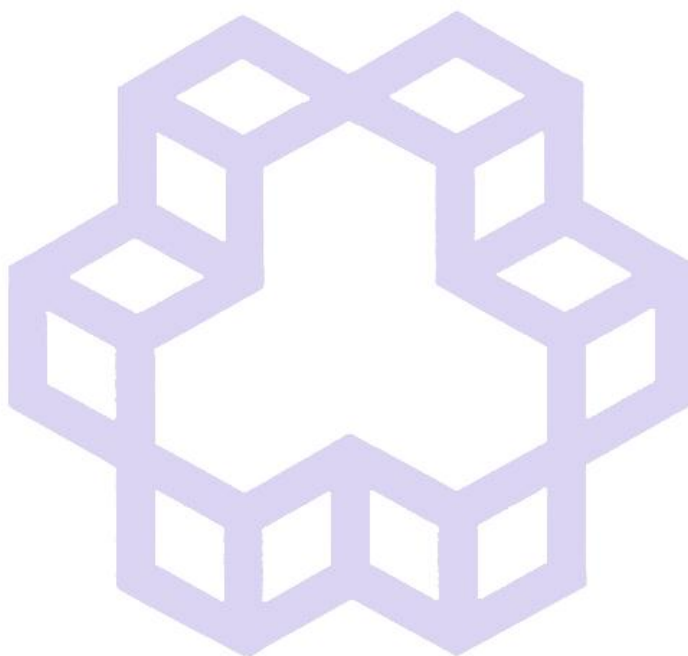
توجه: در این آزمایش چون بار سه فازه اهمی و متعادل است، پس توان سه فاز خواهد بود:

| $I_{PH}(A)$                 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| $V_{PH}(V)$                 |   |   |   |   |
| $t_{for\ n=5}(s)$           |   |   |   |   |
| $C_n$ = (کنترل سه فاز) ثابت |   |   |   |   |
| C                           |   |   |   |   |
| $\Delta C$                  |   |   |   |   |
| $\% \beta$                  |   |   |   |   |

سؤال

(۱) نتایج بدست آمده در جداول هر دو قسمت کنتور تکفاز و سه فاز را با هم مقایسه کنید.

(۲) در آزمایش کنتور سه فاز، چه تغییراتی را مشاهده می نمایید و علت تفاوت این دو آزمایش را با ذکر علت بیان کنید؟



## منابع

- ۱- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ ؛ مؤلف: جبه دارمارالانی.
- ۲- کتاب مدارهای الکتریکی ؛ مؤلف ویلیام هیت.
- ۳- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ ؛ مؤلف: مهندس یار.
- ۴- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ و ۳ ؛ مؤلف: احسان روحانی.
- ۵- دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی دانشگاههای تهران، امیر کبیر، آزاد تبریز، پیام نور و بیرجند.
- ۶- اندازه گیری الکتریکی؛ مؤلف: ساونی ، ترجمه محمود دیانی ، مجید ملکان ، مرکز نشر دانشگاهی ، تهران.
- ۷- دستگاههای اندازه گیری؛ تالیف مسعود سلطانی ، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- فایل‌های مرتبط با درس مدارهای الکتریکی و اندازه گیری از اینترنت.

