

« بنام خدا »



دانشکده تربیت دبیر فنی و حرفه ای



دانشکده تربیت دبیر فنی و حرفه ای

آزمایشگاه مدار

استاد:

مهندس موسوی

تهیه کننده:

محمد وافی محمدی

www.mvm.anzaliblog.com

دانشکده فنی میرزا کوچک

صومعه سرا

مقدمه:

انواع ولتاژ و جریان AC

۱- ولتاژ پیک (ماکزیمم) V_M یا V_P

توسط اسکوپ اندازه گیری می شود.

$$V_{P-P} \leftarrow VP-P = 2V_M$$

توسط اسکوپ اندازه گیری می شود.

$$V_T \leftarrow VT = V_M \sin \omega t$$

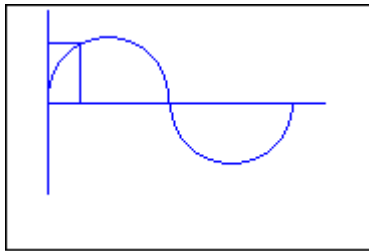
۲- ولتاژ پیک تا پیک

۳- ولتاژ لحظه ای

$$V_{off} = V_M / 1.4$$

۴- ولتاژ مؤثر

توسط ولت‌متر AC محاسبه می شود.



$$V_{ave} = .637V_M$$

۵- ولتاژ متوسط

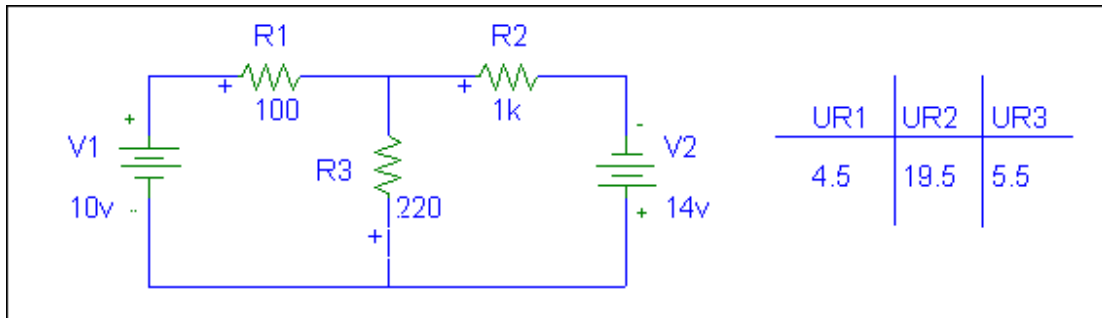
تاریخ ۸۳/۷/۱۱

آزمایش ۱

قوانین کیرشهف

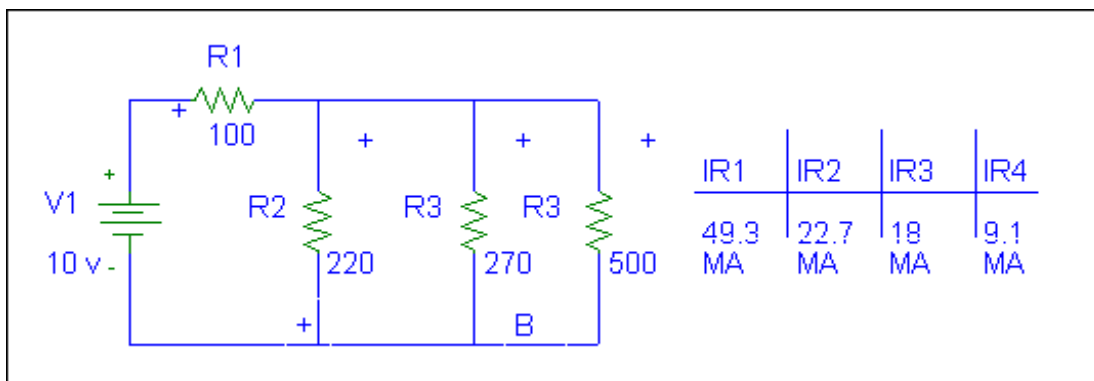
۱- قانون ولتاژ:

مداری مطابق شکل مونتاژ نموده (پلاریته ولتاژ را در هر مقاومت مشخص کرده و قانون kvl را برای هر حلقه اثبات کنید).



۲- قانون جریان:

جمع جبری جریانهای وارد و خارج شده از هر گره برابر صفر است.



سؤال ۱: مجموع $IR_2 + IR_3 + IR_4$ با IR_1 چه رابطه ای دارد.

سؤال ۲: اگر مقاومت R_3 را اتصال کوتاه کنیم IR_1, IR_2 چه تغییری میکند

سؤال ۳: قانون KCL را برای نقطه B بنویسید.

جواب ۱: برابر هستند.

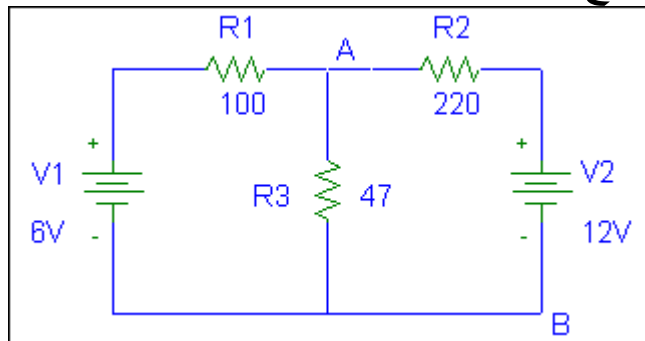
جواب ۲: $IR_2 = 0$ $IR_1 = 98.8$

جواب ۳: $49.3 = 22.7 + 18 + 9.1$

تاریخ ۸۳/۷/۱۸

آزمایش ۲

جمع آثار:



مراحل آزمایش:

- الف) مقدير مقاومتها را با اهم متر اندازه گيري كنيد.
 ب) با توجه به روش حلقه جريان هر مقاومت را بدست اوريد. (تئوري)
 ج) پلاريتها ولتاژ و مقدار ولتاژ هر مقاومت را مشخص كنيد. (عملي)
 د) جريان هر مقاومت و جهت ان را مشخص كنيد. (عملي)
 ه) ولتاژ V_{AB} از نظر عملي چند ولت است.
 و) با توجه به ولتاژ هر مقاومت جريان هر مقاومت را همراه با جهت ان مشخص كنيد.
 ز) براي نقطه (A) قانون KCL را نوشته و جريان هر شاخه را بدست اوريد

جوابها :

	با اهم متر	(الف)
$R1=100 \rightarrow$	99	
$R2=220 \rightarrow$	217	
$R3=47 \rightarrow$	47	

(ب)

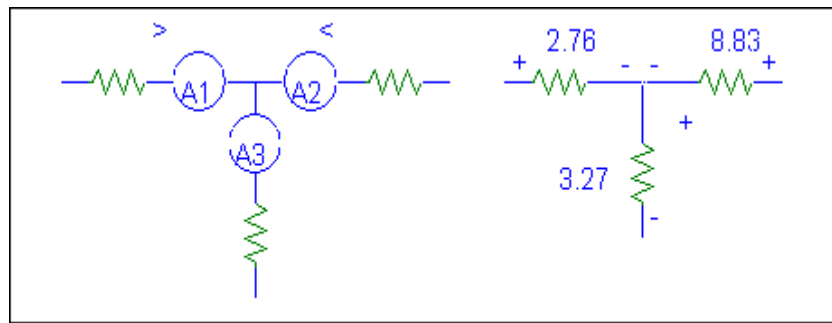
$$\begin{cases} 100 I_1 + 47(I_1+I_2) - 60 \\ 220 I_2 + 47(I_1+I_2) - 12 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} 147 I_1 + 47 I_2 = 6 \\ 47 I_1 + 267 I_2 = 12 \end{cases}$$

$$I_1 = 0.028$$

$$I_2 = 0.04$$

(د)

(ج)



$$\vec{A}_1 = 0.0269 \quad \vec{A}_2 = 0.0395 \quad \downarrow A_3 = 0.0659$$

(هـ)

$$V_{AB} = +3.3$$

(و) تئوری

$$V_{R1} = 6 - 3.3 = 2.7 \text{ v}$$

$$I_{R1} = 2.7 / 99 = 0.027$$

$$V_{R2} = 12 - 3.3 = 8.7 \text{ v}$$

$$I_{R2} = 8.7 / 217 = 0.04$$

$$V_{R3} = 3.3 \text{ v}$$

$$I_{R3} = 3.3 / 47 = 0.07$$

$$0.027 + 0.04 = 0.07$$

عملی

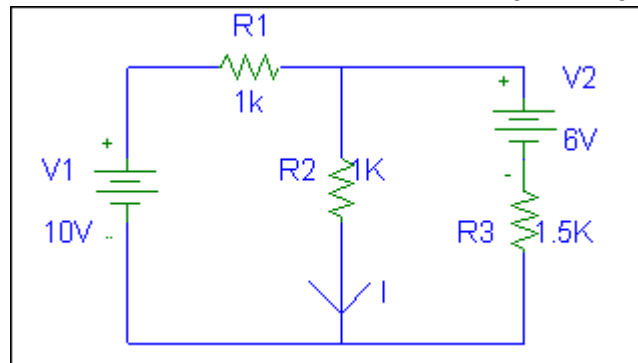
$$\text{KCL } \rightarrow A \quad (26.9 + 39.5) - 65.9 = .5$$

تاریخ ۸۳/۷/۱۸

آزمایش ۳

جمع آثار:

مراحل آزمایش:



الف) جریان I را توسط امپر متر (DC) بدست آورید.

ب) حال (V1) را از مدار خارج کرده (I') را بدست آورید و سپس (V2) را حذف کرده و از دیدگاه (V1) جریان (I'') را بدست آورید از روی این دو جریان مقدار (I) چقدر می شود این مقدار با بند (الف) چه تفاوتی دارد.
ج) توان مقاومت (R) را از روش تئوری و عملی بدست آورید.

جوابها:

$$I=3.1 \text{ A}$$

(الف)

$$I=I_1+I_2=1.3+1.8=3.1$$

(ب)

$$P=R \cdot I^2=1768 \cdot 0.0031^2=0.0169$$

(ج) عملی-

تئوری

$$\left| \begin{array}{l} 1807 I_1+1768(I_1+I_2)-10 \\ 1768(I_1+I_2)+1487I_2-6 \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{l} I_1=0.002578 \\ I_2=4.429 \cdot 10^{-4} \end{array} \right.$$

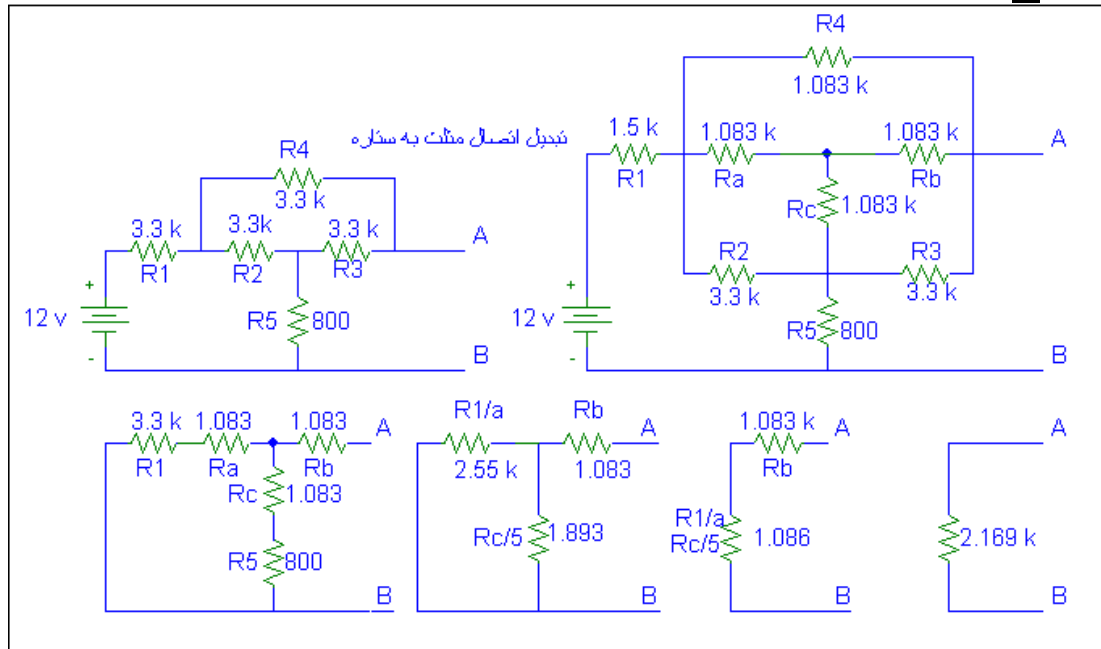
$$I R_2=0.0030209$$

$$P=R \cdot I^2=1768 \cdot (0.0030209)^2=0.0161 \text{ W}$$

آزمایش ۴

تاریخ ۸۳/۷/۲۵

تونن_نورتن

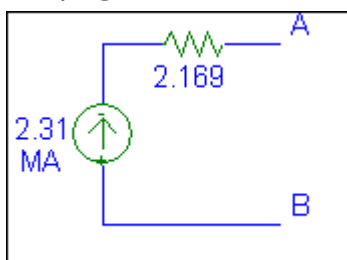


الف) ابتدا معادل تونن مدار روبرو را از روش تئوری حساب کنید
 ب) منبع را اتصال کوتاه کرده و مقاومت (AB) را توسط اهم متر حساب کنید.

ج) منبع را وارد مدار کرده و توسط اسکوپ ولتاژ (AB) را بدست آورید.

د) توسط امپر متر DC جریان AB را حساب کرده و معادل نورتن مدار را رسم کنید.
 جوابها :

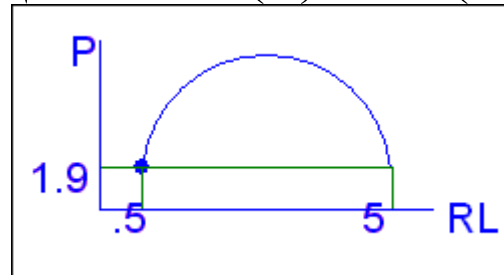
- الف) $R_{AB}=2.169$
- ب) $R_{AB}=2.18$
- ج) $V_{AB}=V_{th}=2.18$
- د) $I_{AB}=2.13$



تاریخ ۸۳/۷/۲۵ آزمایش ۵
 الف) با توجه به شکل (ازمایش ۵) جدول زیر را کامل کنید

RL K	.5	.8	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
VL v	.98	1.38	2.07	2.45	2.71	2.94	3.13	3.29	3.42	3.43
IL MA	1.87	1.69	1.37	1.2	1.08	.98	.89	.82	.76	.7
$P=Vl^2/R$	1.92	2.38	2.8	3	2.9	2.8	2.79	2.7	2.5	2.3
$P=VL*IL$	1.83	2.33	2.8	2.94	2.92	2.88	2.78	2.69	2.59	2.39
$P=R.IL^2$	1.74	2.22	2.81	2.88	2.91	2.88	2.77	2.68	2.59	2.4

ب) منحنی $P=F(R)$ را رسم کنید



ج) در چه مقاومتی بیشترین توان مصرف می شود.
 علت را توضیح دهید این مقاومت با مقاومت معادل تونن چه نسبتی دارد.

در مقاومت ۲۰۰۰ اهم زیرا این مقدار نزدیکترین رقم به مقاومت تونن است.

تاریخ ۸۳/۸/۲

آزمایش ۶

آشنایی با اسکوپ
وسيله ايست براي اندازه گيري ولتاژ و زمان تناوب بصورت
مستقيم

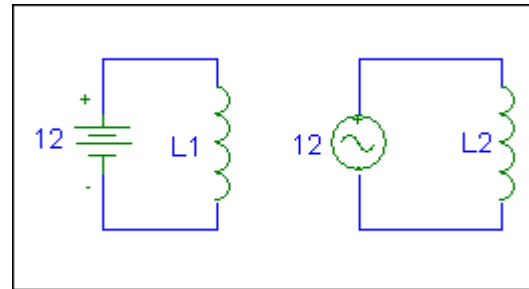
۱- تيغه سمت چپ (برای امتحان پراپ)

INTEN	۲- شدت روشنایی
FOCUS	۳- تمرکز نور
TRACC POTATION	۴- پیچ تنظیم خط
POWER	۵- روشن و خاموش
POSITION	۶- وضعیت
MODE	۷- انتخاب شکل نمایشی
AC/DC	۸- دگمه انتخاب وضعیت
GND	۹- اتصال به زمین
VAR	۱۰- دقت در اندازه گیری
INVERS CH2	۱۱- معکوس کردن موج
POSITION	۱۲- جابجا کردن موج روی محور X ها
MAG	۱۳- کم کردن فرکانس
(X-Y)	۱۴- اندازه گیری اختلاف فاز بین دو موج
TIME/DIV	۱۵- تعیین زمان تناوب
HOLD/OFF	۱۶- ثابت نگه داشتن موج
NORM/AUTO	۱۷- تعیین فرکانس بصورت اتوماتیک
LEVEL	۱۸- بالعکس کردن موج (۱۸۰)
COPLING	۲۰- تعیین کردن AC/DC
SOURCE	۲۱- وارد کردن موج دندانانه ا ره ای

تاریخ ۸۳/۸/۹

آزمایش ۷

اندازه گیری یک بو بین



۱- در جریان dc :

$$I = .77 \text{ MA} \quad V = 2.56 \text{ V}$$

$$R = V/I = 2.56 / .77 * 10^{-3} = 3324$$

۲- در جریان AC :

$$I = .73 \text{ MA} \quad V = 2.65$$

$$Z = V/I = 2.65 / .73 * 10^{-3} = 3630$$

$$XL^2 = Z^2 - R^2 = (3630)^2 - (3324)^2$$

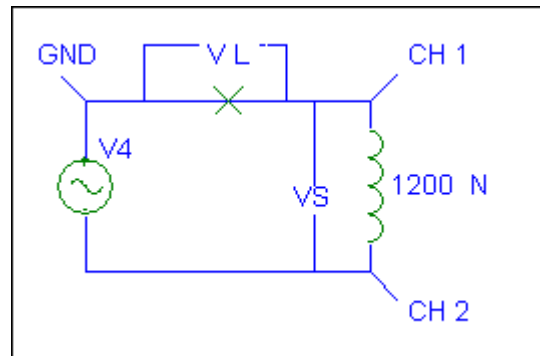
$$XL = 1458.7$$

$$L = XL / \omega = 1458.7 / 314 = 4.64 \text{ H}$$

تاریخ ۸۳/۸/۹

آزمایش ۸

تاثیر فرکانس و هسته در مقدار مقاومت سلفی



الف) مدار مطابق شکل مونتاژ کنید

ب) ولتاژ V از کدام رابطه بدست می آید

$$V = VL + VS \quad \text{یا} \quad V^2 = VL^2 + VS^2$$

ج) مطابق شکل مدار را به اسکوپ اتصال داده و اختلاف فاز کل را بدست آورید

د) هسته (U) شکل را را وارد بو بین کرده و مراحل (ب) و (ج) را تکرار کنیم (نور لامپ چه تغییری می کند)

ه) هسته (I) را روی (U) قرار داده و مراحل (ب) و (ج) را تکرار کنید (در این حالت نور لامپ چه تغییری می کرده و اختلاف فاز چه قدر است . (علت تغییرات را شرح دهید)

و) منبع ولتاژ را بصورت $4 \sin 314 T$ در آورده و اختلاف فاز را اندازه گیری کنیم .

ز) فرکانس منبع را ۲ و ۳ و ۴ و ۵ برابر حالت قرار داده و اختلاف فاز را در هر حالت بدست آورید و به چه علت اختلاف فاز بوجود می یابد.

« جوابها »

(ب)

$$VS = 3.22$$

$$VL = 12.75$$

$$V = VL + VS$$

$$15.8 = 12.75 + 3.22 = 15.87$$

(ج) صفر است

(د)

$$VS=7.9$$

$$VL=10.9$$

$$V^2 = VL^2 + VS^2$$

$$V = 13.46$$

۳۶ درجه

از روی شکل موج

۲۶.۳ درجه

از روی منحنی لیساژور

نور لامپ کم می شود

(ه)

$$VS=13.88$$

$$VL=3.73$$

$$V^2 = VL^2 + VS^2$$

$$V=14.2$$

۵۱.۴ درجه

از روی شکل موج

۵۲.۶ درجه

از روی منحنی لیساژور

نور لامپ کم میشود زیرا با افزایش هسته مقدار مقاومت سلفی (XL) افزایش می یابد و باعث کم شدن جریان و در نتیجه کاهش نور لامپ خواهد شد.

(و)

اختلاف فاز ۱۰۸ درجه خواهد شد

(ز)

با افزایش فرکانس دامنه ولتاژ کم شده و باعث بوجود آمدن اختلاف فاز می شود در واقع مقاومت سلفی زیاد تر از مقاومت اهمی خواهد شد.

آزمایش ۹

اندازه گیری خازن در جریان dc

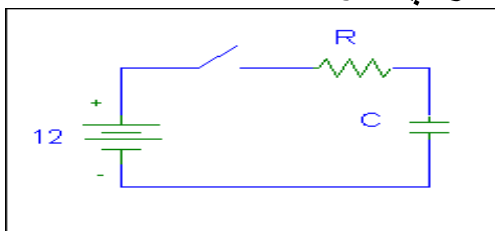
الف : مداری مطابق شکل مونتاژ کنید و جدول زیر را کامل کنید .

ب : منحنی $VR=F(t), VC=F(t)$ را رسم کنید .

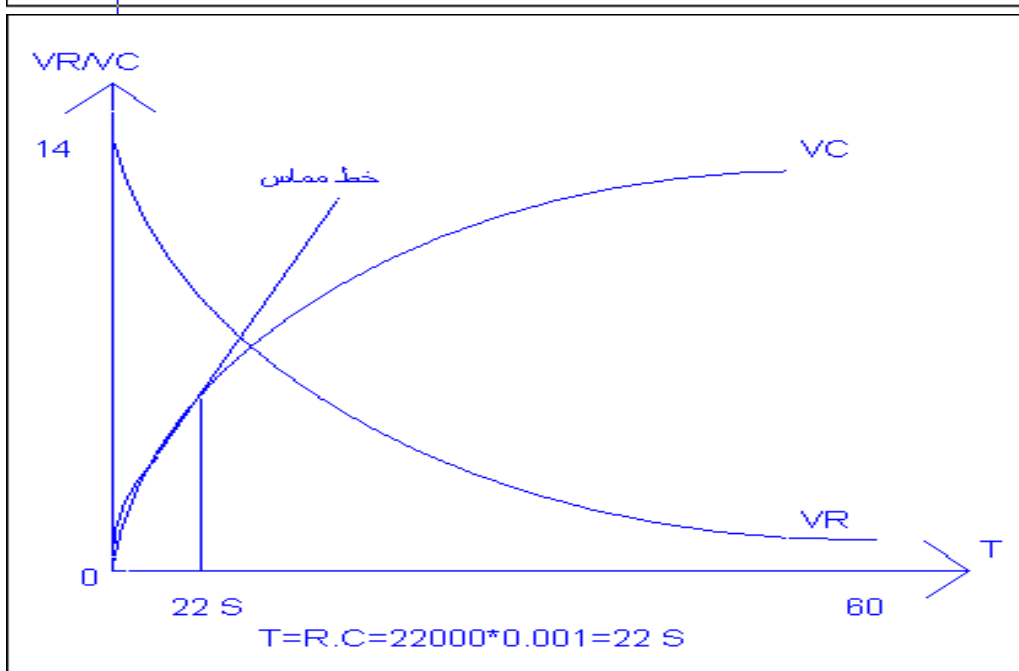
ج : از روی شکل و رابطه $T=R.C$ ثابت زمانی را بدست آورید.

د : از روی جدول ثابت زمانی را حساب کنید.

ه : ولتاژ VC, VR در هر لحظه برابر چند ولت است .

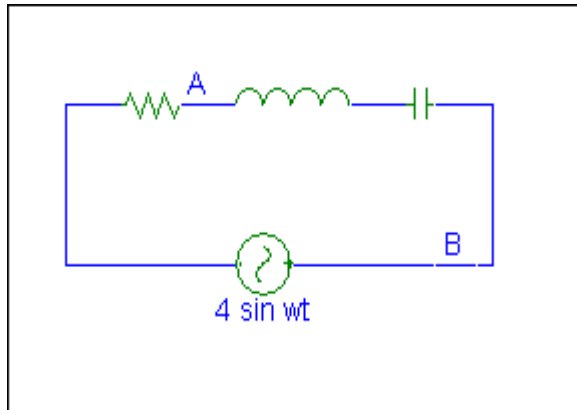


T	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VC	0	2.7	4.7	6.7	8.3	9.5	10.4	11.24	11.9	12.46	12.8	13.13	13.5
VR	14	12.2	10.15	8.2	6.5	5.4	4.5	3.6	3	2.5	2.05	1.7	1.5
VC,VR	14	14.9	14.85	14.9	14.8	14.9	14.9	14.86	14.9	14.96	14.8	14.83	15
			$13.5 \cdot 0.63 = 8.5$			$8.5 = 22 \text{ S}$							



آزمایش ۱۰

تحقیق در مورد حالت تشدید در مدار RLC و محاسبه پهنای باند :



$C = .1 \mu f$

$L = 1200 \text{ N}$

$R = 100 \Omega$

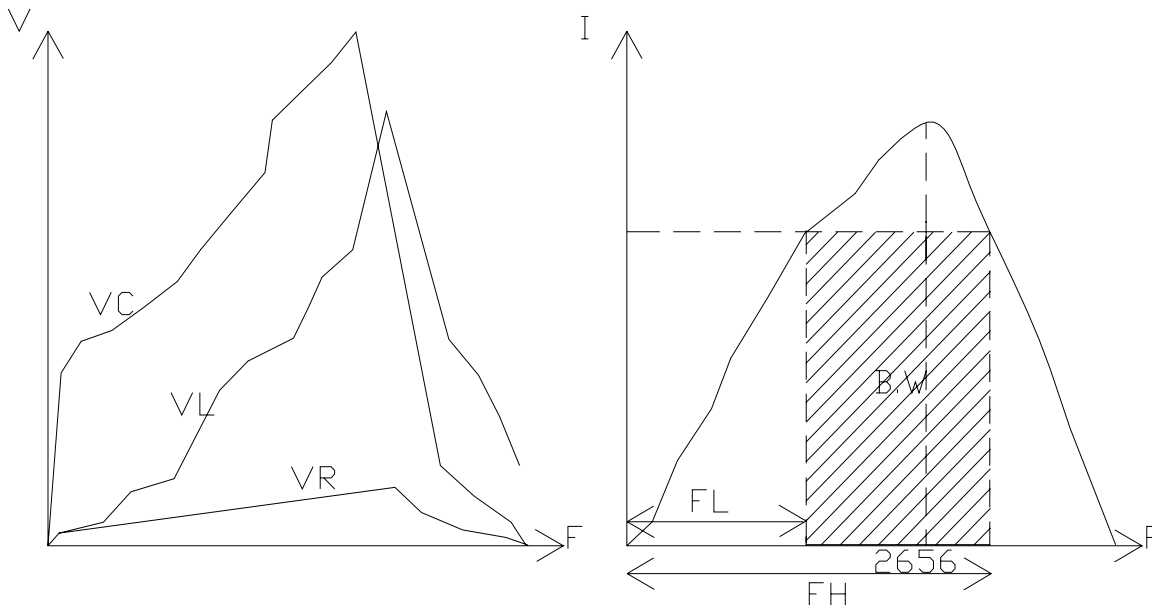
الف : مدار مطابق شکل بالا را مونتاژ کنید.

ب : با تغییر فرکانس جدول زیر را کامل کنید. (بوبین بدون هسته)

FHZ	100	500	900	1300	1700	2100	2500	2600	2700	2800	3300	4K	5K	10K	20K
IMA	.01	1.77	3.65	5.6	8.87	10.59	14.5	15.1	16	17.12	21.3	7.98	5.36	2.04	.65
VR	.132	.174	.35	.54	.75	0.8	1.1	1.38	1.46	1.55	1.98	.6	.42	0.1	0.01
VL	.034	.418	1.8	2.04	6.62	5.9	9.6	10.92	12.06	13.3	20.9	9.8	8.27	6.9	5.9
VC	6.98	7.34	8	8.54	10.2	12.2	15.4	17	18.1	19.2	26.1	2.7	1.25	.19	0.1

ج : منحنی تغییرات VR, VL, VC را بر حسب فرکانس رسم کنید.

د : $I = F(f)$ را رسم کنید و فرکانس تشدید و پهنای باند را حساب کنید.



$$BW = FH - FL = 3200 - 2100 = 1100 \quad , \quad FR = 2650$$

ه: هسته UI را وارد مدار کرده و L را حساب کنید.
اسکوپ را روی AB قرار داده و فرکانس را تغییر دهید. در کدام فرکانس اسکوپ کمترین مقدار دامنه را دارد و بنظر شما این فرکانس کدام است.

$$Z^2 = R^2 + XL^2$$

$$XL^2 = Z^2 - R^2 = (132)^2 - (98.8)^2 = 164 \Omega$$

$$L = XL / \omega = 164 / 2\pi 50 = 522 \text{ MH}$$

فرکانس تشدید به صفر می رسد.

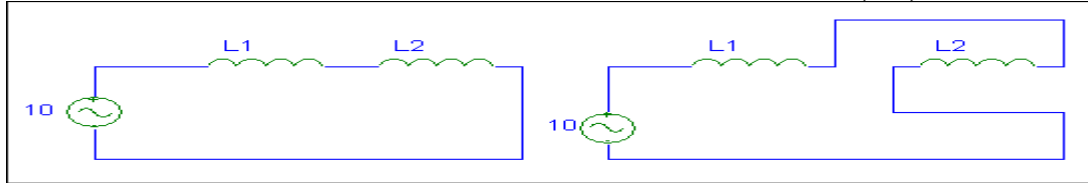
$$FR = 3000 \text{ HZ}$$

آزمایش ۱۱

الف : مداری مطابق شکل مونتاژ کنید.

ب : در دو مرحله L_a, L_b را بدست آورید .

ج : ولتاژ منبع را در چند مرحله 5,10,12,14,16 ولت تغییر داده و ضریب القای متقابل (M) را حساب کنید. مقادیر این ضریب چه تغییری می کنند.



$$Z_a = V_a / I_a = 10 / .27 = 37 \Omega$$

ب :

$$X_{L_a} = Z_a^2 - (R_1 + R_2)^2 = 32.8 \Omega$$

$$L_a = X_{L_a} / \omega = 104 \text{ MH}$$

$$Z_b = 250 \Omega, \quad X_{L_b} = 249.4 \Omega, \quad L_b = 794 \text{ MH}$$

$$M = L_b - L_a / 4 = 172.5 \text{ MH}$$

ج : با ولتاژ ۵ ولت

$$Z_a = 5 / .17 = 29.4 \Omega \quad X_{L_a} = 24 \Omega \quad L_a = 76 \text{ MH}$$

$$Z_b = 5 / .02 = 250 \Omega \quad X_{L_b} = 249.4 \Omega \quad L_b = 794 \Omega$$

$$M = 179.5 \text{ MH}$$

با ولتاژ ۱۲ ولت

$$Z_a = 12 / .02 = 600 \Omega \quad X_{L_a} = 599.7 \Omega \quad L_a = 1.91 \text{ MH}$$

$$Z_b = 12 / .1 = 120 \Omega \quad X_{L_b} = 118.7 \Omega \quad L_b = 378 \text{ MH}$$

$$M = 382 \text{ MH}$$

با ولتاژ ۱۴ ولت

$$Z_a = 14 / .057 = 245.6 \Omega \quad X_{L_a} = 245 \Omega \quad L_a = 93 \text{ MH}$$

$$Z_b = 14 / .414 = 33.8 \Omega \quad X_{L_b} = 29.2 \Omega \quad L_b = 93 \text{ MH}$$

$$M = 194.9 \text{ MH}$$

با ولتاژ ۱۶ ولت

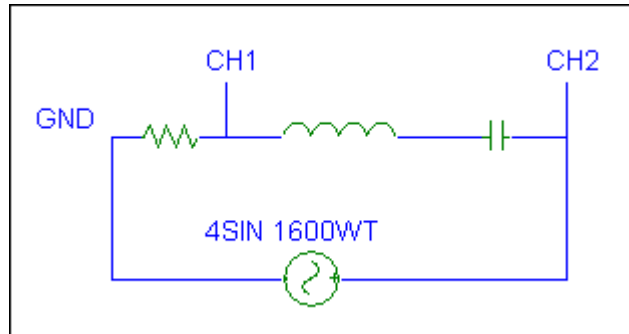
$$Z_a = 16 / .55 = 29 \Omega \quad X_{L_a} = 23.6 \Omega \quad L_a = 75 \text{ MH}$$

$$Z_b = 16 / .464 = 34.4 \Omega \quad X_{L_b} = 30 \Omega \quad L_b = 95 \text{ MH}$$

$$M = 5 \text{ MH}$$

آزمایش ۱۲

مدار مطابق شکل مونتاژ کنید .



$$R=1 \text{ K}\Omega$$

$$N=1200 \text{ N}$$

$$C= 0.1 \mu\text{F}$$

الف : بدون قرار دادن هسته در درون سلف اختلاف فاز را به روش معمولی ولیساژور بدست آورید .

$$\frac{2.4}{0.4} = \frac{360}{\varphi} \quad \varphi=60$$

$$0.4 \quad \varphi$$

$$\varphi = \text{ARC SIN } 1.7/2 = 60$$

ب : هسته را داخل بو بین کرده و اختلاف فاز را حساب کنید .

$$\frac{2.4}{0.6} = \frac{360}{\varphi} \quad \varphi=90$$

$$0.6 \quad \varphi$$

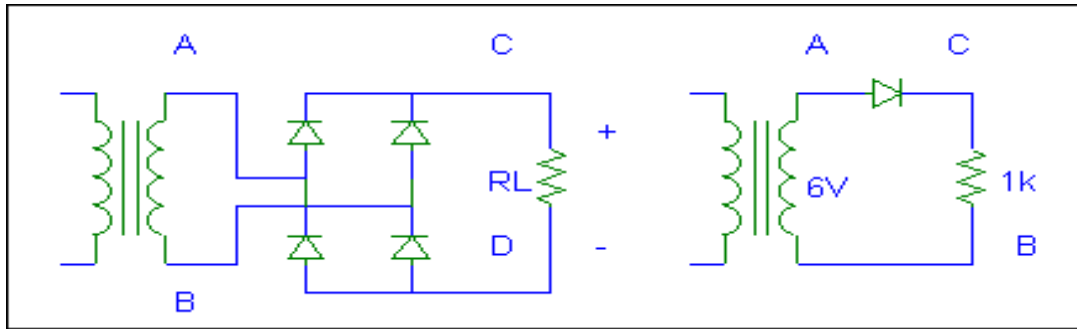
ج : به نظر شما به چه روش می توان اختلاف فاز را به حداقل رساند . در این حالت فرکانس مربوطه را حساب کنید .

برای از بین بردن اختلاف فاز باید فرکانس تشدید موجود باشد چون در این صورت مقادیر اثرات سلفی و خازنی همدیگر خنثی کرده و فقط مقدار اهمی در مدار می ماند .

$$FR=16 \text{ KHZ}$$

آزمایش ۱۳

الف) مدار زیر را ببندید و ولتاژهای V_{ab}, V_{cb}, V_{cd} را بدست آورده ولتاژ V_{av} و PIV را در هر حالت حساب کنید .



$V_{ab}=8\text{ v}$

$V_{cb}=9$

$V_{cd}=7.5$

الف) $V_{av}=V_p/\pi=8/\pi=2.54\text{ v}$

$PIV=V_p=8\text{ V}$

ب) $V_{av}=2V_p/\pi=16/\pi=5.09$

$PIV=V_p=8$

ب) خازن $470\ \mu\text{f}$ و $1000\ \mu\text{f}$ را به نقاط CD پل و cb نیم موج وصل کرده و مقدار V_{cb} را بدست آورید .

نیم موج :

$470\ \mu\text{f}$) $V_{cb}=8\text{ v}$

$1000\ \mu\text{f}$) $V_{cb}=7.8\text{ v}$

تمام موج پل :

$470\ \mu\text{f}$) $V_{cb}=7.2\text{ v}$

$1000\ \mu\text{f}$) $V_{cb}=7.6\text{ v}$

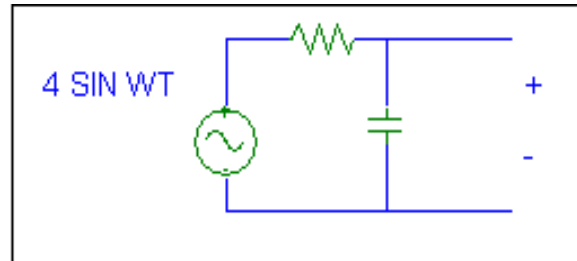
ج) با توجه به بار جریان مصرف کننده را در هر حالت توسط ولت‌متر DC را حساب کنید .

نیم موج : $I_{LOAD}=2.3\text{ MA}$

تمام موج پل : $I_{LOAD}=2.35\text{ MA}$

آزمایش ۱۴

الف: با توجه به شکل و جدول ضریب بهره را حساب کنید.
 ب: جدول زیر را کامل کرده و اختلاف فاز را بدست آورید.



$R=1\text{ K}\Omega$

$C=0.1\ \mu\text{F}$

F HZ	100	200	500	1K	2K	10K	15K	20K
V _{OUT} /V _{IN}	0.08	0.075	0.082	0.083	0.084	0.085	0.087	0.09
ϕ	72	72	72				3	18

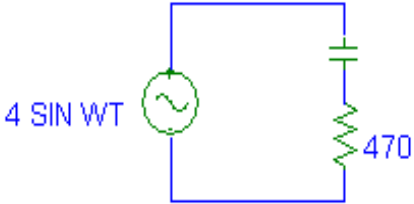
ج: علت کاهش ضریب بهره را توضیح دهید.
 با افزایش یافتن فرکانس مقدار اثر خازنی کم شده و مدار به حالت اهمی نزدیک می شود.

آزمایش ۱۵

خازن در جریان AC

الف : مداری مطابق شکل ترتیب داده و ولتاژ ژنراتور را طوری تنظیم کنید که ولتاژ دو سر خازن مقادیر داده شده باشد . سپس از روی VR جریان خازن را حساب کرده و جدول را کامل نمایید
 ب : اختلاف فاز در هر حالت را بدست آورده و در مورد روش اندازه گیری توضیح دهید .

C	FHZ	VC	VR	IC	XC	زاویه
0.1 F	0.4	1.2	0.12	0.25	3978	14.4
0.1 F	0.8	1.2	0.2	0.42	1989	27.6
0.1 F	1	1.2	0.22	0.46	1591	20.7
0.1 F	4	1.2	1.1	2.34	398	55.3
0.1 F	4	0.6	0.59	1.25	398	69.2
0.1 F	8	1.2	1.42	3.02	198	55.3
50 NF	8	0.6	0.58	1.8	397	78.75
50 NF	15	0.6	2.91	6.19	212	84.7
0.1 F	30	0.6	14.56	30	53.5	



اختلاف فاز به این روش که تعداد خانه فاصله ما بین دو موج را بر تعداد خانه های یک سیکل گذاشته و با کسر $360/\phi$ مساوی قرار می دهیم متناسب می گیریم.

$$\frac{5}{0.2} = \frac{360}{\phi}$$

$$\phi = 14.4$$

آزمایش ۱۶

اندازه گیری ثابت زمانی خازن در جریان AC
الف: مدار زیر را ببندید و با وصل کلید K ولتاژ V و ثابت زمانی را بدست آورید.

ب: از راه محاسبه ثابت زمانی را بدست آورید (بالف چه فرقی کرد)
ج: آزمایش را در دو مرحله با مشخصات روبرو انجام دهید.

$$F=4 \text{ KHZ}$$

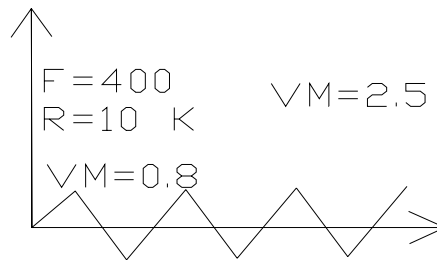
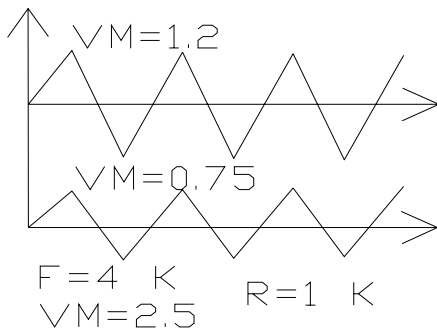
$$V_M=2.5$$

$$R=1 \text{ K}\Omega$$

$$F=400 \text{ HZ}$$

$$V_M=2.5$$

$$R=10 \text{ K}\Omega$$



$$\frac{2.6}{0.6} = \frac{2.6 * 0.1 * 10^{-3}}{\tau}$$

$$\tau = 0.06 \text{ MS}$$

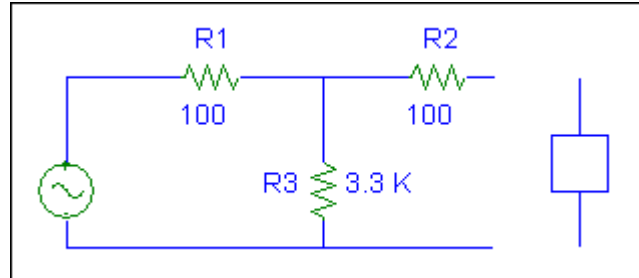
$$\frac{1.2}{1.4} = \frac{1.2 * 0.5 * 10^{-3}}{\tau}$$

$$\tau = 0.7 \text{ MS}$$

آزمایش ۱۷

معادل تونن و نورتن

الف : مداری مانند شکل زیر را ببندید .



ب : توسط ولت‌متر ولتاژ مدار باز AB را اندازه بگیرید .

$$V_{oc}=2.65 \text{ V}$$

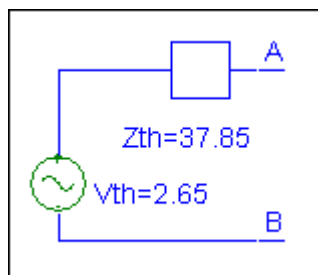
ج : مقاومت ۳۳ اهم را به AB اتصال داده و ولتاژ دو سر آنرا محاسبه کنید . جریان اتصال کوتاه را بدست آورید .

$$V_R=0.32 \text{ V}$$

$$I_{sc} = \frac{V_{th} - V_R}{R} = \frac{2.65 - 0.32}{33} = 0.07 \text{ A}$$

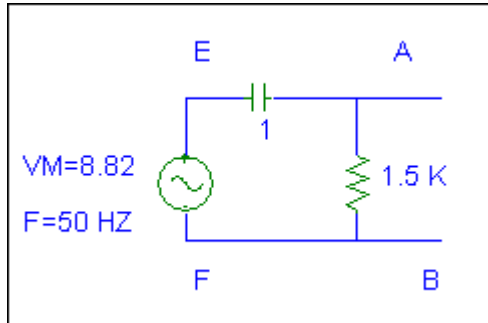
$$Z_{th} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = \frac{2.65}{0.07} = 37.85 \text{ } \Omega$$

د : معادل تونن AB را رسم کنید .

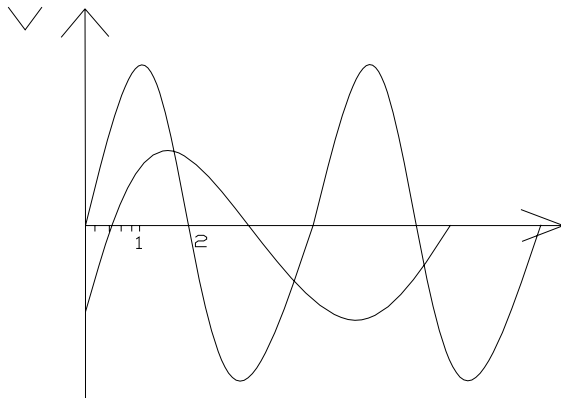


آزمایش ۱۸

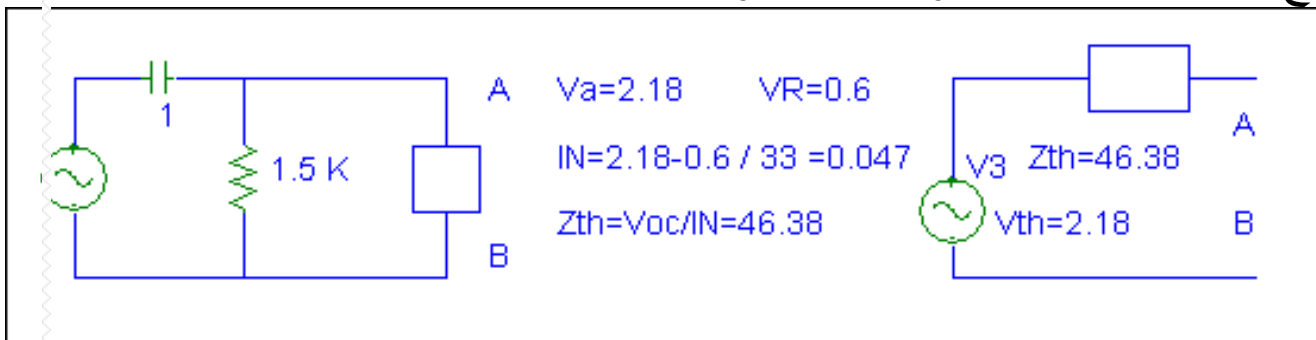
الف : مداری مطابق شکل زیر ببندید .



ب : ولتاژ V_{EF} , V_{AB} را توسط اسکوپ بدست آورید .



ج : معادل تونن AB را بدست آورید .



د : معادل تونن مدار را با توجه به اعداد مختلط حساب کنید .

$$X_C = 1 / j\omega C . W = (-j * 1) / (10^{-6} * 2 \pi * 50) = -j3183.09$$

$$Z_{th} = (R * -jX_C) / (R - jX_C) = 1227.3 - j578.3$$

$$Z_{th}^2 = R^2 + X_C^2 = 1356.45$$