آزمایش شماره ۷

آشنایی با اسیلوسکوپ (نوسان‌نما)

اهداف

- آشنایی با طرز کار اسیلوسکوپ
- آشنایی با طرز کار مولد موج و کاربردهای آن
- اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس متناوب به‌وسیله اسیلوسکوپ
- اندازه‌گیری اختلاف فاز به‌وسیله اسیلوسکوپ

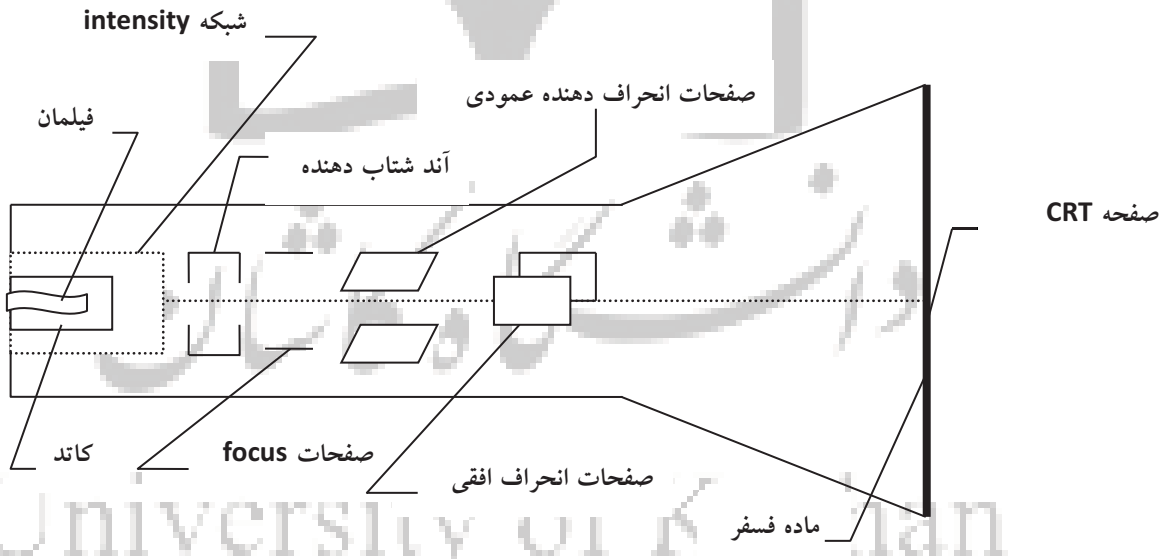
وسایل مورد نیاز

اسیلوسکوپ، مولد موج، آوومتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، منبع تغذیه ولتاژ متناوب، باتری و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) اساس کار اسیلوسکوپ

برای به‌دست آوردن تصویر در اسیلوسکوپ از یک لامپ اشعه کاتدی یا CRT(Cathodic Ray Tube) استفاده می‌شود. شکل ۱ ساختمان داخلی یک CRT الکترواستاتیکی مخصوص اسیلوسکوپ را نشان می‌دهد.



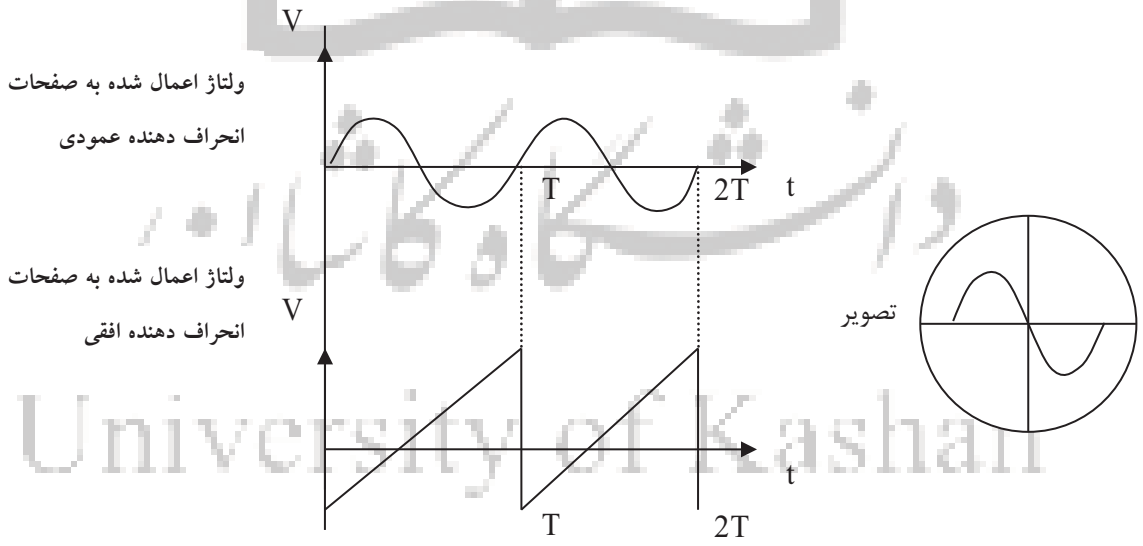
شکل (۱): ساختمان داخلی یک اسیلوسکوپ.

طرز کار این لامپ به‌این‌صورت است که کاتد توسط فیلامان گرم شده و الکترون‌ها از سطح آن صادر می‌شوند. الکترون‌ها توسط کاتد، شتاب داده شده و باعث رسیدن آن‌ها به صفحه CRT می‌شود. صفحه مزبور از یک ماده فسفر پوشیده شده که در اثر برخورد الکترون‌ها به آن نور تولید می‌شود. تعداد الکترون‌ها و در نتیجه شدت نور را می‌توان توسط شبکه شدت نور کنترل نمود. با منفی‌تر نمودن ولتاژ شبکه نسبت به کاتد تعداد الکترون‌های رسیده به صفحه و در نتیجه شدت نور کاهش می‌یابد. صفحات کانونی قطر شعاع الکترونی صادره از کاتد صفحه CRT را در مرکز قطع می‌نماید و در نتیجه یک لکه نورانی در مرکز صفحه ایجاد می‌شود. برای ایجاد یک منحنی متناسب با ولتاژ اعمال شده به‌وسیله اسیلوسکوپ و در نتیجه اندازه‌گیری آن، باید

بتوان لکه نورانی روی صفحه CRT را به‌طور مناسبی حرکت داد. برای تغییر مکان لکه نورانی، صفحات انحراف دهنده عمودی و افقی در داخل CRT تعبیه شده است. این صفحات می‌توانند لکه نورانی را در جهت افقی یا عمودی حرکت دهند. برای مثال اگر به صفحات انحراف دهنده عمودی ولتاژی داده شود که صفحات بالایی را مثبت‌تر از صفحات پائینی نماید، میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات مزبور شعاع الکترونی را به سمت بالا منحرف می‌نماید و در نتیجه لکه نورانی روی صفحه نیز به بالا منحرف خواهد شد.

به‌همین‌ترتیب صفحات انحراف دهنده افقی در جهت افقی می‌توانند باعث تغییر مکان لکه نورانی شوند. برای ایجاد یک منحنی ثابت روی صفحه، شعاع الکترونی باید یک مسیر معین را روی صفحه سریعاً (بیشتر از ۱۶ بار در ثانیه) از ابتدا تا انتها طی نموده و دوباره به ابتدای مسیر برگردد و این عمل را تکرار کند. در این صورت حرکت لکه نورانی برای چشم انسان محسوس نبوده و به نظر ساکن خواهد آمد. به‌عنوان مثال فرض کنید می‌خواهیم یک ولتاژ سینوسی را روی صفحه CRT ببینیم، اگر انحراف لحظه‌ای لکه نورانی در جهت عمودی متناسب با مقدار لحظه‌ای موج سینوسی و انحراف لحظه‌ای آن در جهت افقی متناسب با زمان باشد، از ترکیب این دو انحراف واضح است که لکه نورانی یک منحنی پیوسته با موج سینوسی را روی صفحه طی خواهد نمود.

شکل ۲ چگونگی ایجاد تصویر موج سینوسی را روی CRT نشان می‌دهد. همانطور که از شکل زیر مشاهده می‌شود ولتاژ سینوسی مستقیماً به صفحات انحراف دهنده عمودی و افقی اعمال می‌شود همچنین عمل همزمان کردن در اسیلوسکوپ توسط شبکه تریگر انجام می‌شود که به‌همراه ژنراتور مبنای زمان، یک موج دندان اره‌ای همزمان با موج ورودی تولید می‌کنند. در شکل ۲ یک موج دندان اره‌ای نمایش داده شده است. اگر موج دندان اره‌ای با پریود خود موج برابر باشد یک سیکل کامل بر روی صفحه CRT دیده می‌شود، اما اگر پریود موج دندان اره‌ای بیش ازپریود موج باشد چند سیکل بر روی CRT دیده می‌شود. شکل موج موقعی بر روی صفحه ثابت خواهد بود که پریود موج دندان اره‌ای مضرب صحیحی از پریود موج باشد، در غیر این صورت تصویر ثابتی بر روی CRT ایجاد نخواهد شد و شکل موج بر روی صفحه حرکت خواهد نمود.



شکل (۲): نحوه اعمال ولتاژ به صفحات موازی.

بنابراین مسأله همزمان بودن موج دندان اره‌ای و موج ورودی برای ثابت بودن شکل موج دیده شده بر روی CRT ضروری است.

University of Kashan

ب) طرز کار اسیلوسکوپ

حال که با اساس کار و ساختمان داخلی اسیلوسکوپ آشنا شدیم به چگونگی طرز کار اسیلوسکوپ می‌پردازیم:

اصولاً اسیلوسکوپ‌ها مستقل از اینکه ساخت چه کارخانه و کشوری باشند، دارای قسمت‌های مشترکی هستند. به‌این‌ترتیب که شمای ظاهری هر اسیلوسکوپی را می‌توان به هشت قسمت تقسیم نمود:

۱- پرده CRT که شکل موج خواسته شده بر روی آن نشان داده می‌شود. این صفحات دارای ده قسمت در جهت افق و هشت قسمت در جهت عمود است و هر قسمت برابر یک سانتی‌متر است.

۲- کلید روشن و خاموش و نمایانگر آن.

۳- کنترل‌های CRT که شامل دکمه‌های زیر است:

۳-۱- دکمه تغییر مکان عمودی (Vertical Position) که شکل موج را در جهت عمودی بالا و پائین می‌برد. این دکمه ممکن است به اختصار Ver.pos و یا با علامت ↕ نشان داده شود.

۳-۲- دکمه تغییر مکان افقی (Horizontal Position) که شکل موج را در جهت افقی یا چپ و یا راست حرکت می‌دهد. این دکمه ممکن است به اختصار Hor.Pos و یا با علامت ↔ نشان داده شود.

۳-۳- دکمه Intensity که شدت نور موج را کم و زیاد می‌کند، باید در حالتی قرار گیرد که شدت نور موج برای رؤیت کافی باشد. توجه داشته باشید که اگر این دکمه برای مدت طولانی در حالت حداکثر (منتهی الیه سمت راست در جهت عقربه‌های ساعت) قرار داده شود، به‌علت نور زیاد صفحه فسفرسانس آسیب می‌بیند. این دکمه ممکن است به اختصار با Int مشخص شود.

۳-۴- دکمه Focus به‌معنای کانونی یا تمرکز که ضخامت موج رسم شده بر روی صفحه CRT را کم و زیاد می‌کند. این دکمه باید در حالتی قرار داده شود که خطوط تصویر شده، حداقل ضخامت را داشته باشند.

۴-کنترل‌های تریگر (Trigger Contorol):

۴-۱- کلید Auto/Normal: این کلید اگر در حالت Auto باشد حتی اگر به ورودی اسیلوسکوپ موجی داده نشود، مدار داخلی اسیلوسکوپ یک موج دندان اره‌ای به صفحات انحراف افقی اعمال می‌کند و بنابراین خطی بر روی صفحه CRT که نشان دهنده‌ی آماده بودن اسیلوسکوپ است، دیده می‌شود. در حقیقت اگر فرکانس موج ورودی به اسیلوسکوپ از ۵۰Hz کمتر باشد، به‌طور اتوماتیک شبکه تریگر به‌کار افتاده و تولید موج دندان اره‌ای می‌کند. اما اگر دکمه مزبور در حالت Normal باشد فقط عمل تریگر باید به کمک موج ورودی انجام شود، این کلید باید در حالت Auto باشد. گاهی کلید مزبور (Auto/Normal) نامیده می‌شود.

۴-۲- کلید شیب (- و +) مشخص‌کننده این است که اولین نیم سیکل موج نشان داده شده مثبت و یا منفی باشد این کلید در حالت عادی باید در حالت (+) باشد. این کلید با کلمه (Slope) به‌معنی شیب مشخص می‌شود. در واقع علامت (+) به‌معنای شیب مثبت در نقطه شروع موج و علامت (-) به‌معنای شیب منفی درشروع موج است. در شکل ۳ طرز کار این کلید نشان داده شده است.

University of Kashan

شکل (۳): طرز کار کلید slope

۴-۳- کلید (AC/DC/Line) یا Coupling: این کلید نحوه عمل تریگر را معین می‌کند. اگر این کلید در حالت AC باشد، عمل تریگر با مؤلفه AC و اگر در حالت DC باشد، عمل تریگر با خود موج به اضافه مؤلفه DC و اگر در حالت Line باشد، عمل تریگر با فرکانس برق شهر (۵۰ Hz) انجام می‌شود. این کلید در حالت عادی باید در حالت AC باشد. گاهی اوقات دکمه مزبور فقط حالت‌های (AC/TV) دارد که در حالت TV یک فیلتر پایین‌گذر، مؤلفه‌های فرکانس زیاد موج ورودی را حذف نموده و سپس عمل تریگر انجام می‌شود. این کلید در حالتی استفاده می‌شود که یک موج مزاحم بر روی موج اصلی مانع عمل تریگر شود.

۴-۴- کلید External/Internal و جک مربوطه: این کلید که به اختصار (Int,Ext) نامیده می‌شود، برای انتخاب عمل تریگر که می‌تواند داخلی (Int) و یا خارجی (Ext) باشد، استفاده می‌شود. در حالت تریگر خارجی باید موجی را که می‌خواهیم توسط آن تریگر انجام دهیم به جک (Ext.Trrig.Input) داده شود. در حالت عادی این کلید باید در حالت Int باشد.

۴-۵- دکمه Level: این پتانسیومتر که در حقیقت سطح برش تریگر را تغییر می‌دهد، نقطه شروع موج نشان داده شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ را معین می‌کند و این دکمه باید در حالت وسط باشد. اگر شکل موج نشان داده شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این دکمه شکل موج را ثابت نگه داشت.

۵- سلکتور Sweep Time/Div: این سلکتور، مقیاس زمان (محور افقی) را تغییر می‌دهد به‌این‌معنی‌که می‌توان توسط آن معین نمود که چند سیکل از موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نشان داده شود. در عین حال اطراف این سلکتور مدرج بوده و اعداد فوق، مقیاس هر تقسیم‌بندی در جهت افقی را معین می‌کنند، به‌این‌معنی‌که اگر سلکتور مثلاً در حالت ۰/۲ متر بر ثانیه باشد، هر تقسیم‌بندی در جهت افقی برابر ۰/۲ میلی ثانیه خواهد بود. گاهی این سلکتور Time/Div و یا Time/cm هم نامیده می‌شود. همچنین در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها این سلکتور دارای حالت (X-Y) می‌باشد.

اغلب اسیلوسکوپ‌ها در بخش کلیدهای وابسته به سلکتور Time/Div دارای کلید بزرگ‌نمایی در جهت افقی می‌باشند که توسط آن می‌توان مقیاس افقی را به میزان ۵ و یا ۱۰ برابر بزرگ نمود. به‌این‌ترتیب‌که در حالت عادی مقیاس افقی همان است که سلکتور Time/Div نشان می‌دهد. اما مثلاً اگر کلید مزبور در حالت بزرگ‌نمایی ۵ برابر قرار گیرد موج در جهت افقی ۵ برابر کشیده می‌شود. در واقع حساسیت افقی ۵ برابر بیشتر شده است و معادل این است که عدد نشان داده شده توسط سلکتور Time/Div به ۵ تقسیم شده است. در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها کلید بزرگ‌نمایی افقی جزئی، همان دکمه تغییر مکان افقی بوده، به‌این‌صورت‌که وقتی کلید در حالت داخل است حالت عادی بوده وقتی آن را بیرون می‌کشیم در حالت بزرگ نمایی قرار می‌گیرد. از کلید بزرگ‌نمایی افقی در نمایش امواج با فرکانس زیاد استفاده می‌شود.

۶-بخش عمودی:

قسمت عمودی اسیلوسکوپ شامل بخش‌های زیر است:

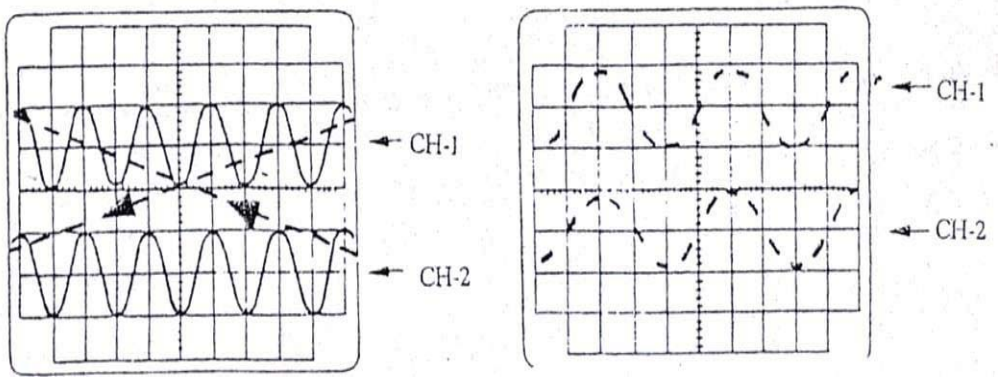
۶-۱- سلکتور Volt/Div: این سلکتور مقیاس ولتاژ (محور عمودی) را تغییر می‌دهد. به‌این‌معنی‌که توسط آن می‌توان ارتفاع موج را تغییر داد. در ضمن اطراف این سلکتور مدرج بوده و اعداد فوق، مقیاس هر تقسیم‌بندی را در جهت عمود معین می-

کنند. مثلاً اگر سلکتور مزبور در حالت ۰/۱ v باشد، هر تقسیم‌بندی در جهت عمودی برابر ۰/۱ v خواهد بود. در رابطه با سلکتور Volt/Div مشابه آنچه در رابطه با سلکتور Time/Div گفته شد، در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها کلید بزرگ‌نمایی عمودی هم وجود دارد. به‌این‌ترتیب‌که با عمل نمودن کلید مزبور حساسیت تقویت‌کننده عمودی به میزان مثلاً ۵ برابر افزایش می‌یابد و در نتیجه نوک به نوک موج نمایش داده شده ۵ برابر بیشتر می‌شود.کلیدهای بزرگ‌نمایی عمودی برای هر کانال، مستقل بوده که معمولاً جزئی از همان کلید تغییر مکان عمودی است. از کلید بزرگ‌نمایی عمودی در نمایش امواج ضعیف استفاده می‌شود.

۶-۲- جک ورودی: جک ورودی در حقیقت ورودی عمودی اسیلوسکوپ است. برای مشاهده شکل موج، آن را به این جک می‌دهیم.

۶-۳- کلید (AC/DC/GND): این کلید اگر در حالت AC باشد، فقط مؤلفه AC نمایش داده می‌شود و مؤلفه DC حذف می‌شود. اما اگر کلید مزبور در حالت DC باشد، مؤلفه DC موج هم نمایش داده می‌شود. مواقعی که هدف، بررسی قسمت AC است کلید مزبور را در حالت AC گذارده ولی اگر بخواهیم مقدار DC موج را هم اندازه بگیریم کلید را در حالت DC می‌گذاریم. وقتی کلید را از حالت AC به حالت DC می‌بریم، مقدار ارتفاعی که شکل، بالا یا پایین می‌رود مقدار DC موج را معین می‌کند. اگر با تغییر حالت کلید، شکل موج هیچ حرکتی در جهت عمود نداشته باشد، این حالت نشان‌دهنده‌ی این است که موج دارای مؤلفه DC نیست. در حالت (GND) ورودی اسیلوسکوپ از تقویت‌کننده عمودی قطع شده و ورودی تقویت کننده مزبور هم زمین می‌شود. این حالت اغلب برای تعیین خط مبنا عمود مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً بر روی صفحه اسیلوسکوپ‌ها جک ورودی عمودی و کلید (AC/DC/GND) و دکمه (Ver.Pos) در نزدیکی هم قرار دارند. در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله که توسط آن‌ها دو شکل موج به‌طور همزمان مشاهده می‌شود دو جک ورودی عمودی و بالطبع دو کلید (AC/DC/GND) و دو دکمه (Ver.Pos) وجود دارد. هر یک از ورودی‌های عمودی اسیلوسکوپ را یک کانال و یا به اختصار (CH) می‌نامند. بنابراین در مقابل یک جک (CH1) و در مقابل دیگری (CH2) نوشته می‌شود. در ضمن این اسیلوسکوپ‌ها دارای کلیدی به‌نام (Ver.Mode) و یا به اختصار (Mode) هستند که توسط آن می‌توان معین نمود که کدامیک از کانال‌ها (یا هر دو کانال) استفاده می‌شوند. مثلاً در مقابل کلید مزبور علامت (CH1.CH2.Dual) وجود دارد.

در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها نمایش دو موج به‌طور همزمان (حالت Dual) می‌تواند به‌صورت Alt و Chop انجام شود. در حالت Alt شعاع الکترونی، موج یک کانال را به‌طور کامل جاروب کرده و سپس قسمتی از موج، کانال دیگر را جاروب می‌کند و به موج اول بر می‌گردد و این عمل تکرار می‌شود. در شکل ۴ دو نوع جاروب chop و Alt نشان داده شده است.



شکل (۴): نمایش دو نوع جاروب

برای موج با فرکانس کم از حالت Chop و برای موج با فرکانس زیاد از حالت Alt استفاده مـی‌شـود. همچنـین در هـر یـک از حالت‌های مزبور می‌توان انتخاب نمود که عامل تریگر با موج کانال ۱ و یا با کانال ۲ انجام شود. به‌همین‌دلیل حالت‌های Chop و Alt هر یک به حالت‌های CH1 و CH2 نیز تقسیم می‌شوند.

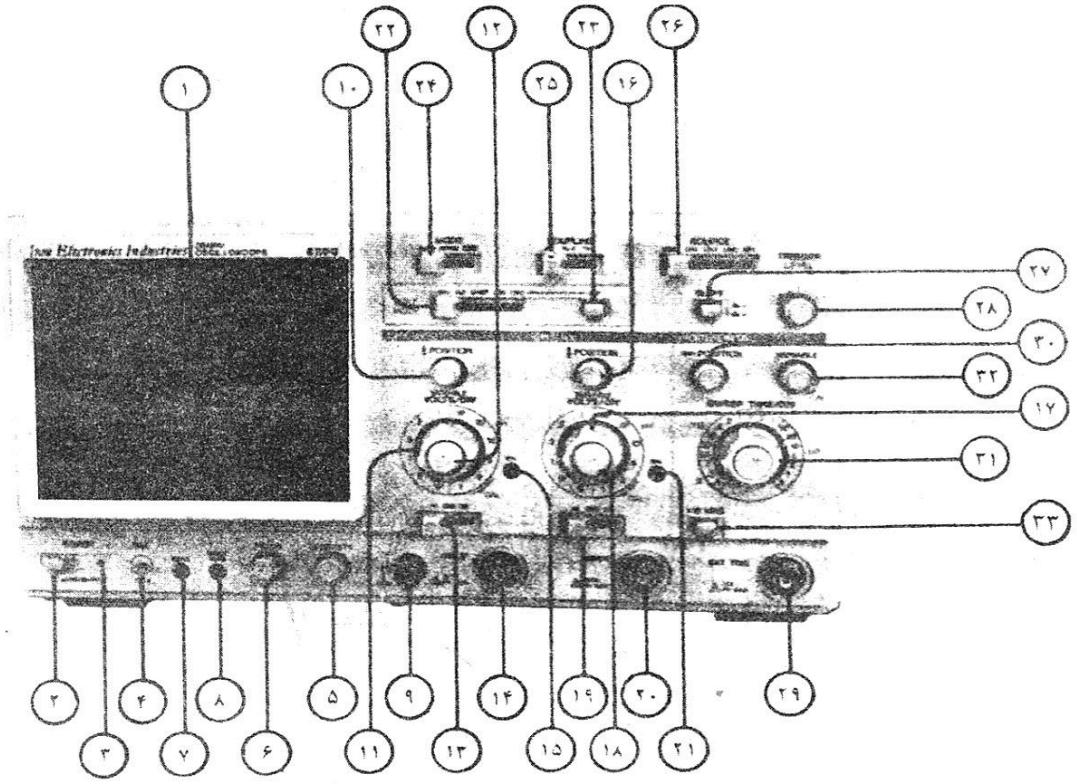
۷- بخش X-Y:

این بخش در اسیلوسکوپ‌ها شامل جک ورودی افقی اسیلوسکوپ است. البته همان‌طور که می‌دانیـد مـوقعی از جـک اسـتفاده می‌شود که اسیلوسکوپ در حالت (X-Y) باشد. به‌همین‌دلیل در اغلب اسیلوسکوپ‌ها دو کاناله دیگر جک مستقلی برای ورودی افقی در نظر گرفته نشده است، بلکه در حالت (X-Y) جک ورودی عمودی یکی از کانال‌ها به‌طور افقی (X) و جـک دیگـر بـر روی ورودی عمودی (Y) اختصاص یافته است.

۸- بخش تنظیمات یا کالیبراسیون (Calibration):

این قسمت برای تنظیم سلکتورهای Time/Div وVolt/Div استفاده می‌شود. به‌این‌ترتیب‌که اسیلوسکوپ یک سیگنال مرجـع با دامنه و فرکانس معین، برای تنظیم خود ایجاد می‌کند. اگر سیگنال مزبور به ورودی عمودی اسیلوسکوپ داده شود، می‌تـوان شکل آن را مشاهده نمود. در عین حال چون دامنه و فرکانس سیگنال مزبور معین است، می‌توان صحت تنظیمات سلکتورهای مزبور را تحقیق نمود. اگر مقادیر خوانده شده صحیح نبودند، نشان می‌دهد که اسیلوسکوپ از تنظیمات خارج شده است. بـرای تنظیم کردن سلکتورهای مزبور باید دکمه‌هایی که به رنگ قرمز بوده و معمولاً با علامت CAL و یا Variable مشـخص مـی-شوند را تغییر داد. جک تولیدکننده سیگنال نیز با علامت CAL مشخص می‌شود.

به‌عنوان مثال شمای ظاهری اسیلوسکوپ دو کاناله ۲۰ MHz در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل(۵): نمای ظاهری اسیلوسکوپ صاایران

۱- صفحه CRT با شماره ۱

۲- کلید روشن و خاموش (Power) با شماره ۲ و لامپ مربوطه ۳

۳- کنترل‌های CRT

-دکمه‌های تغییر مکان عمودی Position مربوط به کانال یک با شماره ۱۰

-دکمه‌های تغییر مکان عمودی Position مربوط به کانال دو با شماره ۱۶

-دکمه تغییر مکان افقی Position با شماره ۳۰

-دکمه شدت نور Intesnsity با شماره ۵

-دکمه تنظیم کانونی Focus با شماره ۶

-پیچ آستیگمات (ASTIG) با شماره ۷. این پیچ به‌همراه دکمه تنظیم کانون، برای ایجاد واضح‌ترین نقطه گرد استفاده می‌شود.

۴- کنترل‌های تریگر

-کلید Mode (Auto/Norm/X-Y) با شماره ۲۴

-کلید شیب (- و +) Slope با شماره ۲۷

-کلید Coupling (AC/TV_F/TV_L) با شماره ۲۵

-کلید Source (VERT/CH1/CH2/Line/Ext) با شماره ۲۶

-دکمه Trigger Level، با شماره ۲۸

-جک ورودی تریگر خارجی (EXT.TRIG.Input) با شماره ۲۹

۵- سلکتور Sweep time/Div با شماره ۳۱

-کلید مستقل بزرگ‌نمایی افقی ۱۰ برابر (10 MAG×) با شماره ۳۳

۶- بخش عمودی

-سلکتور Volt/Div مربوط به کانال یک با شماره ۱۱

-سلکتور Volt/Div مربوط به کانال دو با شماره ۱۷

-جک ورودی کانال یک با شماره ۱۴

-جک ورودی کانال دو با شماره ۲۰

-کلید (AC/DC/GND) مربوط به کانال یک با شماره ۱۳

دانشگاه کاشان
University of Kashan

-کلید (AC/DC/GND) مربوط به کانال دو با شماره ۱۹

-کلید حالت عمودی Vertical mode(CH1/ALT/Chop/ADD/CH2) با شماره ۲۲

-کلید معکوس‌کننده (INV) مربوط به کانال ۲ با شماره ۲۳. این کلید در حالت بیرون سیگنال کانال۲ را عادی نمایش می‌دهد. ولی اگر دکمه را به داخل فشار دهیم، سیگنال کانال ۲ وارونه خواهد شد.

۷- بخش X-Y

در حالتی که کلید (Auto/NORMAL/XY) Mode در حالت X-Y باشد جک ورودی کانال (CH1) ورودی عمودی (محور Y) و جک ورودی کانال ۲ (CH2) ورودی افقی (محور X) خواهد بود. طبعاً سلکتورهای Volt/Div مربوط به‌ترتیب جهت تنظیمات عمودی و افقی مؤثر خواهند بود.

۸- بخش تنظیمات (کالیبراسیون CAL)

-جک مولد موج مربعی مرجع CAL با شماره ۴ که موجی با نوک به نوک ۱ ولت و فرکانس دو برابر فرکانس برق شهر (۲×۵۰Hz=۱۰۰Hz) ایجاد می‌کند.

-ترمینال زمین GND (I) با شماره ۹

-پتانسیومترهای Variable برای تنظیم سلکتورهای Dolt/Div مربوط به کانال‌های یک و دو با شماره‌های ۱۲ و ۱۸

-پتانسیومتر Variable برای تنظیم سلکتور Time/Div با شماره ۳۲

-پیچ چرخش محور افقی (Trace Rotation) با شماره ۸. توسط این پیچ، کجی محور افقی کاملاً در وضعیت افقی (خط مبنا) تصحیح می‌گردد. کجی محور افقی ممکن است در اثر میدان مغناطیسی کره زمین باشد.

-پیچ‌های کنترل بالانس (Bal-Control) مربوط به کانال‌های یک و دو با شماره‌های ۱۵ و ۲۱. به‌دلیل استفاده از دستگاه در مناطق و حرارت‌های متفاوت می‌بایستی سلکتورهای Volt/Div هر یک از دو کانال از نظر Dc بالانس شوند. با تنظیم این پیچ‌ها، می‌باید حالتی را انتخاب کرد که تغییر سلکتور Volt/Div در حالت مختلف خط افقی (Trace) هیچ تغییر مکانی در جهت عمودی نداشته باشد.

ج) ولتاژ مؤثر

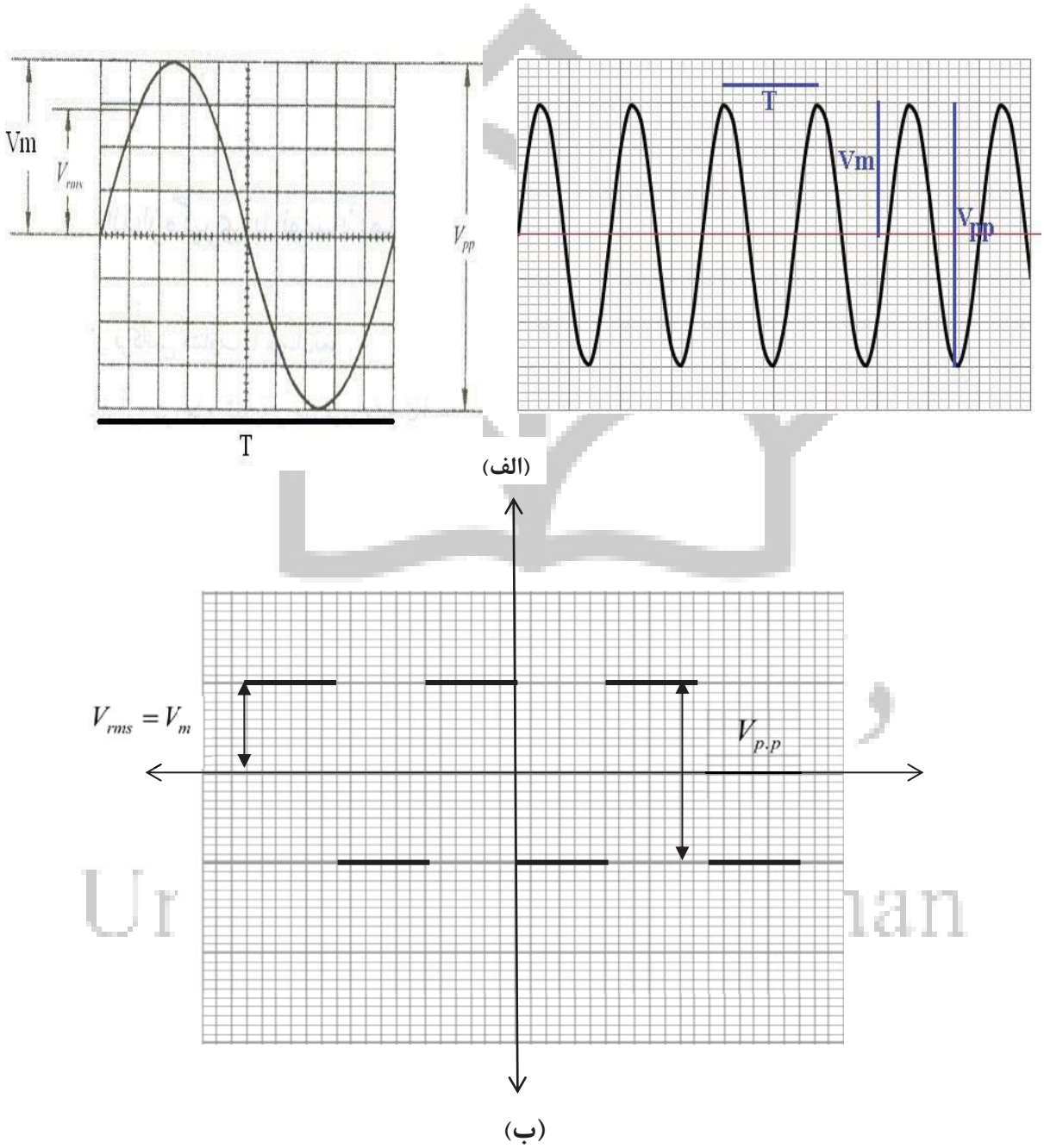
یکی از تفاوت‌های اسیلوسکوپ و ولت‌سنج در این است که اسیلوسکوپ قادر است بستگی ولتاژ به زمان را به نمایش بگذارد، در صورتی که ولت‌سنج متناوب فقط مقدار مؤثر ولتاژ V_{ef} که معمولاً V_{rms} نیز نوشته می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. زیرنوشت V_{rms} مخفف Root Mean Square و به‌معنی ریشه دوم میانگین مربعی کمیت مورد نظر در یک چرخه کامل است.

$$V_{rms} = \leq V^2 \geq^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

برای مثال اگر موج سینوسی باشد یعنی $V(t) = V_m Sin\omega t$ آنگاه ولتاژ مؤثر چنین خواهد بود:

$$V_{rms}=\left[\frac{1}{T}\int_0^T V_m^2\sin^2\omega t.dt\right]^{\frac{1}{2}}=V_m\left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\sin^2\theta.d\theta\right]^{\frac{1}{2}}=\frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (۲)$$

که در آن از $\theta=\omega t,\omega=\frac{2\pi}{T}$ استفاده شده است. اگر به اسیلوسکوپ ولتاژ سینوسی اعمال کنیم شکل موج بصورت شکل ۶ به‌دست خواهد آمد. در این شکل $V_{P.P}=2V_m$ ولتاژ نوک به نوک (پیک تو پیک) خوانده می‌شود.



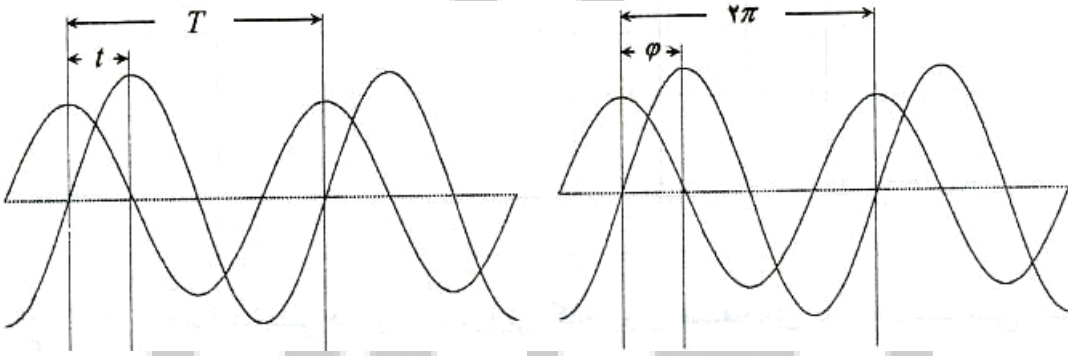
شکل(۶): الف) ولتاژ متناوب موج سینوسی در یک دوره تناوب، ب) ولتاژ متناوب موج مربعی در یک دوره تناوب.

د) اختلاف فاز دو موج سینوسی

در صورتی که دو موج سینوسی هم‌فرکانس دارای اختلاف فاز معینی باشند، برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین آن دو از اسیلوسکوپ استفاده می‌شود. دو روش برای تعیین اختلاف فاز وجود دارد.

۱- نمایش دوتایی امواج روی صفحه نمایش

شکل زیر نمایش دوتایی دو موج را روی صفحه اسیلوسکوپ نشان می‌دهد. از آن‌جا که یک دوره تناوب، معادل اختلاف فاز 2π است، یعنی اگر موج را به‌اندازه یک دوره تناوب جابه‌جا کنیم تغییری در شکل موج حاصل نمی‌شود.



شکل(۷): نمایش همزمان دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ.

بدین ترتیب، می‌توان با استفاده از تناسب بین 2π و دوره تناوب، اختلاف فاز دو موج را به‌صورت $\phi = 2\pi \frac{t}{T}$ نوشت که در آن t فاصله زمانی دو نقطه مشابه متوالی (مانند دو بیشینه متوالی) از دو موج است.

۲- برهم نهی امواج در دو راستای عمود بر هم

معادله دو موج هم‌فرکانس با اختلاف فاز ϕ در دو راستای عمود بر هم برابر است با:

$$X = A\sin\omega t \rightarrow \frac{X}{A} = \sin\omega t$$

$$y = B\sin(\omega t + \phi) \rightarrow \frac{Y}{B} = \sin(\omega t + \phi)$$

University of Kashan

با جمع زدن مجذور روابط بالا و پس از ساده‌سازی، معادله مسیر حرکت به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 - \frac{2XY}{AB}\cos\phi = \sin^2\phi$$

در حالت کلی، معادله بالا معادله یک بیضی مایل است. جهت بررسی بیش‌تر، حالات زیر را در نظر می‌گیریم.

❖ اختلاف فاز صفر: برای دو موج با $\phi = 0$ داریم:

بنابراین در این حالت معادله مسیر، یک خط راست با شیب مثبت است.

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 - \frac{2XY}{AB} = 0 \rightarrow Y = \frac{B}{A}X$$

❖ اختلاف فاز ۹۰ درجه ($\phi = 90$):

از این‌رو در این حالت معادله مسیر، یک بیضی (افقی یا عمودی بسته به مقادیر A, B) است.

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 = 1$$

❖ اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ($\phi = 180$):

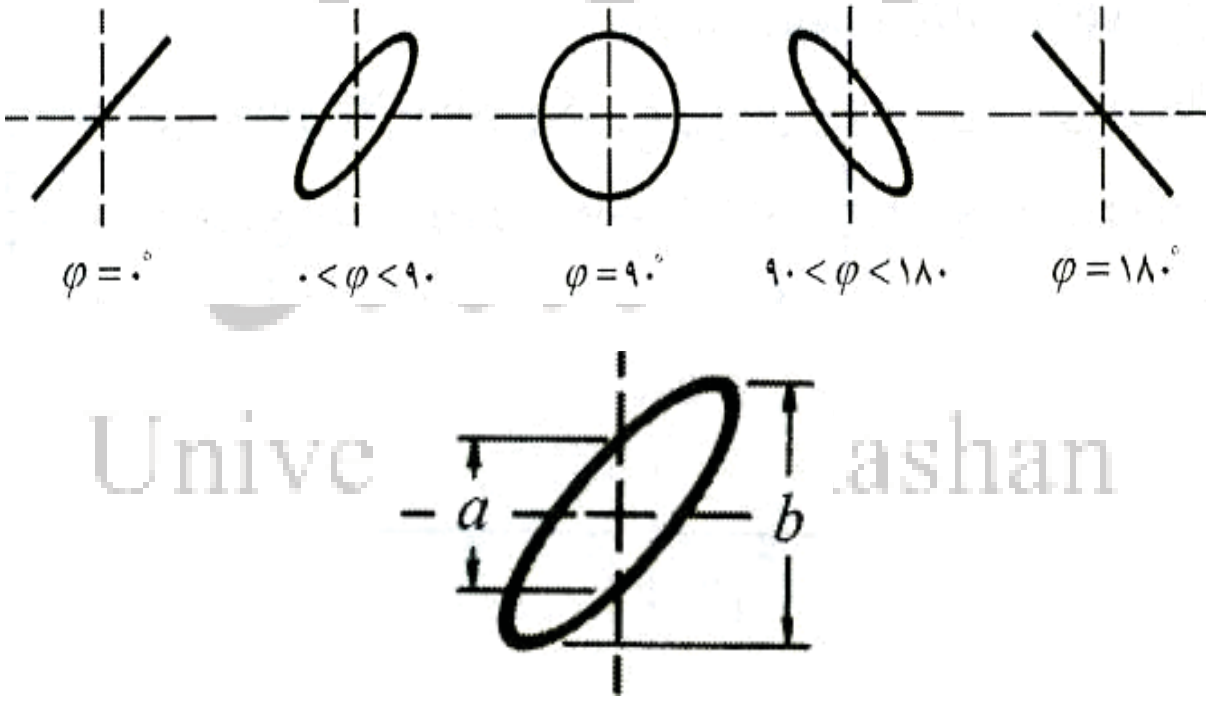
بنابراین در این حالت معادله مسیر، معادله خط با شیب منفی است.

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 + \frac{2XY}{AB} = 0 \rightarrow Y = -\frac{B}{A}X$$

در عمل، جهت تعیین اختلاف فاز برای حالات دیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

که a و b مقادیر اندازه‌گیری شده از شکل ۸ هستند.



Univc ashan

شکل(۸): بیضی مایل با اختلاف فاز ϕ

نحوه انجام آزمایش

الف) اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس موج متناوب

۱) اسیلوسکوپ (نوسان‌نما) را روشن کنید. پس از چند لحظه لکه‌ای روی صفحه دیده می‌شود. اگر اسیلوسکوپ تنظیم شده باشد این لکه از چپ به راست حرکت می‌کند با دکمه‌های Intens و Focus شدت و کانونی بودن لکه را تنظیم کنید. شدت لکه نباید آن‌قدر زیاد باشد که روی صفحه، هاله داشته باشد. با چرخاندن کلید (جابه‌جایی در راستای قائم) لکه در راستای قائم جابه‌جا می‌شود، به‌وسیله این کلید لکه را روی خط وسط بیاورید. با چرخاندن کلید زمان بر قسمت(TIME/DIV) سرعت حرکت لکه تغییر می‌کند. وقتی سرعت حرکت لکه از حد معینی تجاوز کند، چشم قادر به دنبال کردن لکه نخواهد بود و یک خط پیوسته دیده خواهد شد.

۲) به کمک پیچ‌های تنظیم شدت (Intens) و کانونی کننده (Focus)، شدت و پهنای خط نورانی را تنظیم کنید. سلکتور زمان بر قسمت را روی ۰/۵ ms قرار دهید با این کار، پرتو کاتدی هر ۱ Cm از صفحه اسیلوسکوپ را در ۰/۵ ms می‌پیماید و به شکل یک خط مستقیم دیده خواهد شود.

۳) حال اسیلوسکوپ را روی Ac بگذارید. با این کار مؤلفه متناوب ورودی کانال ۱ به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود. احتمال موج نامشخص را روی صفحه مشاهده خواهید کرد.

۴) حال دکمه (AC-GND-DC) را رویGND قرار دهید و خط را روی مبدأ (خط وسط) تنظیم کنید. سپس بر روی حالت AC قرار دهید و دو سر سیم رابط کانال ۱ را به دو سر یک باتری وصل کنید، چه مشاهده می‌کنید؟

۵) حال دکمه (AC-GND-DC) را روی DC قرار دهید، با این کار تمامی ورودی کانال ۱ (مؤلفه مستقیم + مؤلفه متناوب) به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود حال چه مشاهده می‌کنید؟

۶) حال دکمه VOLT/DIV مربوط به کانال ۱ را بچرخانید چه تغییری در مکان خط پرتو کاتدی می‌بینید؟

۷) میزان تغییر فاصله یا جابه‌جایی خط نورانی را بر حسب تعداد درجات صفحه‌ی نمایش تعیین کنید (دقت کنید هر خط ریز ۰/۲ cm می‌باشد)، سپس با استفاده از رابطه زیر ولتاژ مستقیم را تعیین کنید.

University of Kashan

مقدار ولتاژ اسمی	اندازه‌گیری ولتاژ با ولت‌متر	اندازه‌گیری ولتاژ با اسیلوسکوپ

۸) حال مولد موج را روشن کنید و روی فرکانس ۵ KHz تنظیم کنید و دامنه آن را با ولوم ولتاژ تغییر دهید و دو سر خروجی آن را به کانال ۱ وصل کنید و $V_{p.p}$ و V_{rms} را اندازه‌گیری کنید و سپس دو سر خروجی مولد را به ولت‌متر Ac وصل کنید و ولتاژ مؤثر را بخوانید و دو ولتاژ را با هم مقایسه کنید (عدد ولت بر قسمت را طوری انتخاب کنید که اندازه‌گیری با بیش‌ترین دقت انجام شود).

$$V_{P.P} = \text{فاصله عمودی} \times \text{عدد ولت بر قسمت} \times ۰/۲$$

	شکل موج	تعداد خانه‌های عمودی	$V_{P.P}(V)$	$V_m(V)=\frac{V_{P.P}}{2}$	$V_{rms}(V)=\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$V_0(V)$ ولت‌متر	$\frac{\lvert V_{rms}-V_0\rvert}{V_0}\times 100$
۱	سینوسی						
۲	سینوسی						
۳	سینوسی						
	شکل موج	تعداد خانه‌های عمودی	$V_{P.P}(V)$	$V_m(V)=\frac{V_{P.P}}{2}$	$V_{rms}(V)=V_m$	$V_0(V)$ ولت‌متر	$\frac{\lvert V_{rms}-V_0\rvert}{V_0}\times 100$
۱	مربعی						
۲	مربعی						
۳	مربعی						

۹) جهت اندازه‌گیری دوره تناوب و فرکانس موج، مراحل بالا را تکرار کنید، با این تفاوت که ولتاژ را ثابت و فرکانس را تغییر دهید. در این حالت باید فاصله افقی بین دو نقطه یکسان از موج را اندازه‌گیری کنید و در ضریب زمان بر قسمت ضرب کنید تا دوره نوسان به‌دست آید و با معکوس کردن دوره نوسان، فرکانس را محاسبه کنید.

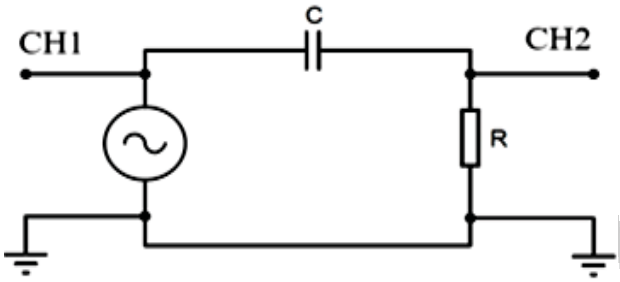
$$T = \text{فاصله افقی دو نقطه هم‌فاز} \times \text{عدد زمان بر قسمت} \times ۰/۲$$

	شکل موج	$f \pm \Delta f(Hz)$ مولد موج	تعداد خانه‌های افقی	$T\ (s)$	$f_{Exp}=\frac{1}{T}$	$\frac{\lvert f_{Exp}-f\rvert}{f}\times 100$
۱	سینوسی	۵۰۰				
۲	سینوسی	۱۰۰۰				
۳	سینوسی	۱۵۰۰				
۴	مربعی	۳۰۰				
۵	مربعی	۸۰۰				
۶	مربعی	۱۲۰۰				

University of Kashan

ب) اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج

۱) برای تولید دو موج غیر هم‌فاز از مدار RC استفاده می‌کنیم. بدین منظور با استفاده از یک مقاومت، خازن و مولد موج مداری مطابق شکل ۹ ببندید $C = 1(\mu F)$ و $R = 1000(\Omega)$.



شکل(۹): مدار R-C.

۲) دو سر مولد موج (اسیلاتور یا نوسان‌ساز) را به دو سر کانال ۱ و دو سر مقاومت را دو سر کانال ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید. دقت کنید که سیم‌های مشکی هر دو کانال بدون واسطه به یکدیگر متصل شده و در نهایت به زمین مولد موج وصل شوند.

۳) اسیلوسکوپ را روشن کنید و با نمایش هر دو موج با هم اختلاف فاز را اندازه بگیرید. همچنین با انتخاب حالت X-Y اختلاف فاز را تعیین کنید و در جدول یادداشت کنید. جهت اندازه‌گیری مقادیر a و b، ابتدا باید صفر اسیلوسکوپ را تنظیم نمائید. به دو روش می‌توانید این کار را انجام دهید. یکی اینکه ولتاژ منبع مولد موج را صفر کنید و با ولوم مکانی اسیلوسکوپ، نقطه نورانی را روی مبدأ تنظیم نمائید. روش دوم اینکه هر دو کانال اسیلوسکوپ را درحالت GND قرار دهید و سپس با تغییر ولوم مکانی اسیلوسکوپ، نقطه نورانی را روی مبدأ قرار دهید.

۴) اختلاف فاز اندازه‌گیری شده را با مقدار نظری مقایسه کنید.

$R = 1000(\Omega)$, $C = 1(\mu F)$							
$f(Hz)$	t	T	$\phi_{Exp1} = 2\pi \frac{t}{T}$	a	b	$\phi_{Exp2} = \sin^{-1}(\frac{a}{b})$	$\phi_{Th} = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi fRC}\right)$
۲۵۰							
۴۰۰							

درصد خطای نسبی فرکانس	$\frac{\lvert\phi_{Exp1} - \phi_{Th}\rvert}{\phi_{Th}} \times 100$	$\frac{\lvert\phi_{Exp2} - \phi_{Th}\rvert}{\phi_{Th}} \times 100$
۲۵۰		
۴۰۰		

تکالیف

۱. اگر موج مربعی باشد با توجه به رابطه (۱) نشان دهید ولتاژ مؤثر با دامنه موج برابر است.
۲. منظور از اسیلوسکوپ ۱۰۰MHz چیست؟
۳. فرق حالت DC و AC در کلید انتخاب چیست؟
۴. ضرایب کلید Volt /Div ، بیان کننده چیست؟
۵. نقش ولوم Level روی پانل اسیلوسکوپ چیست؟
۶. ضرایب کلید سلکتور Time /Div بیان کننده چیست؟
۷. اختلاف فاز بین ورودی و خروجی مدار RC ناشی از چیست؟
۸. کدام روش برای تعیین اختلاف فاز دقیق‌تر است؟ چرا؟
۹. آیا با استفاده از دو مولد موج می‌توان اختلاف فاز را نشان داد؟ توضیح دهید.

University of Kashan