

۱-۱۲- مقدمه

یکی از مهمترین ابزارهای اندازه‌گیری که اساس کار آن بر پایه حرکت الکترون در میدان الکتریکی بنا شده است اسیلوسکوپ می‌باشد. این وسیله نقش بسیار مهمی در توسعه علم الکترونیک داشته است. اسیلوسکوپ این امکان را فراهم می‌کند که کمیاتی نظیر ولتاژ، جریان و یا توان را برحسب زمان نمایش داد. در این دستگاه از باریکه الکترونی استفاده شده و چون جرم الکترون خیلی کم است ($m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$) براحتی در میدان الکتریکی منحرف می‌شود، لذا می‌توان تغییرات کمیت مورد سنجش براحتی مشاهده نمود. رنج فرکانس کار آن از صفر تا چندین مگاهرتز برای اسیلوسکوپ‌های معمولی و تا چندین گیگا هرتز برای اسیلوسکوپ‌های خیلی دقیق می‌باشد.

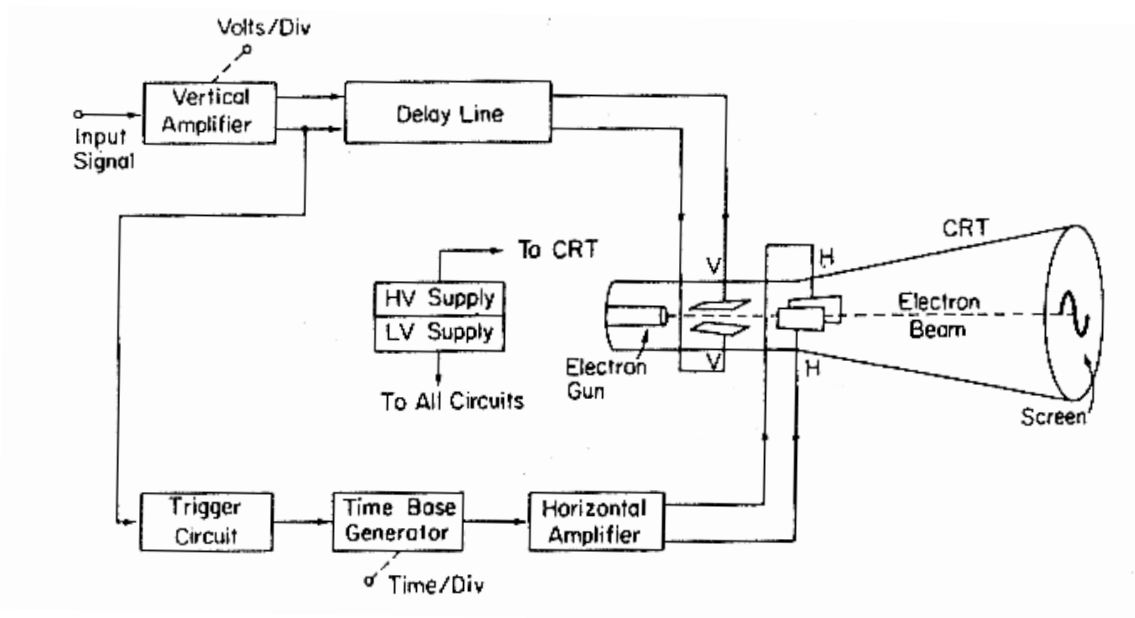
قلب یک اسیلوسکوپ، لامپ اشعه کاتدی (Cathode Ray Tube) می‌باشد. در این لامپ شعاع باریکی از الکترون به صفحه فسفری اصابت کرده و باعث ایجاد یک نقطه نورانی می‌شود. بعلاوه کمی جرم الکترون، این اشعه می‌تواند با سرعت بسیار زیاد تغییرات میدان را دنبال کرده و رد شکل موج را روی صفحه نشان دهد. با انحراف اشعه در دو جهت x و y و جابجایی نقطه نورانی می‌توان یک شکل دو بعدی را مشاهده کرد. عملاً انحراف اشعه در جهت x متناسب با زمان و در جهت y متناسب با کمیت مورد اندازه‌گیری مثل ولتاژ است. بنابراین می‌توان تغییرات ولتاژ ورودی با زمان را مشاهده نمود. میدان الکتریکی که باعث انحراف مسیر شعاع الکترونی می‌شود توسط صفحات انحراف دهنده ای ایجاد می‌شود که این صفحات تشکیل یک خازن را می‌دهند. شدت میدان و میزان انحراف الکترون داخل میدان، بستگی به ولتاژ صفحات این خازن داشته و در نتیجه میزان انحراف مستقیماً با ولتاژ اعمالی به صفحات متناسب می‌باشد. این حقیقت نشان دهنده آن است که اسیلوسکوپ در واقع یک نوع ولت متر می‌باشد که توانایی کار در فرکانس‌های بسیار زیاد را دارد.

۲-۱۲- بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ

همانطوری که گفته شد مهمترین قسمت یک اسیلوسکوپ لامپ اشعه کاتدی می‌باشد. در این لامپ، الکترونها

تولید شده و شتاب می گیرند. همچنین انحراف اشعه برای ایجاد یک تصویر دو بعدی و نهایتاً برخورد با صفحه فسفری برای رویت اشعه الکترونی در لامپ اشعه کاتدی صورت می گیرد. برای انجام چنین اعمالی نیاز به سیگنالها و ولتاژهای مختلفی می باشد که بقیه قسمتهای اسیلوسکوپ وظیفه ساخت آنها را بر عهده دارند.

شکل (۱-۱۲) بلوک دیاگرام یک اسیلوسکوپ را نشان می دهد. منبع تغذیه ولتاژ لازم برای لامپ اشعه کاتدی جهت ایجاد الکترون و شتاب دادن آن را تولید می کند. علاوه بر این ولتاژ مورد نیاز برای سایر مدارات اسیلوسکوپ نیز توسط منبع تغذیه ایجاد می شود. برای شتاب دار کردن الکترون نیاز به ولتاژ نسبتاً زیادی در حد چند هزار ولت می باشد، در حالی که المنت گرم کننده کاتد با ولتاژ چند ولت کار می کند. ولتاژ بقیه قسمتهای مدار نیز از حد چند صد ولت تجاوز نمی کند.



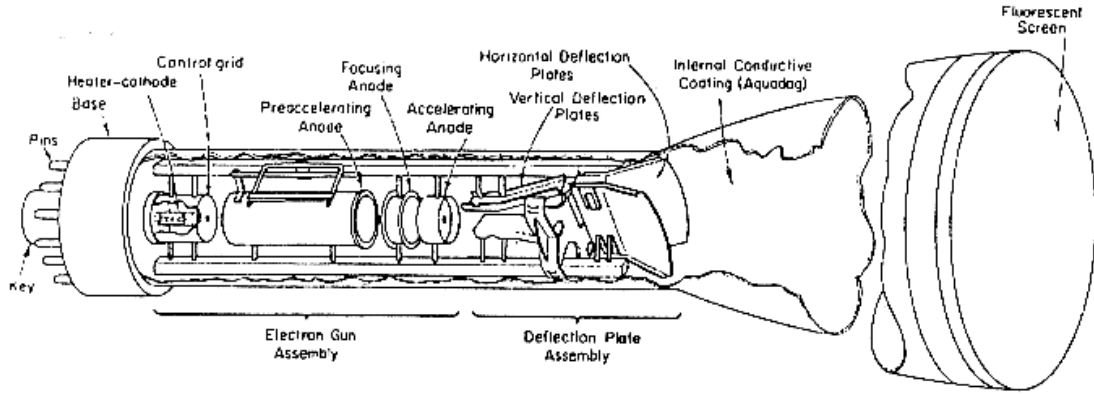
شکل (۱-۱۲) بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ

برای انحراف افقی اشعه باید یک ولتاژ دندانه اره‌ای به صفحات افقی اعمال شود. این موج توسط بلوک (*Time Base Generator*) تولید می شود که پس از تقویت به صفحات انحراف افقی می رود. سیگنالی که قرار است نشان داده شود به صفحات انحراف دهنده عمودی داده می شود. برای اینکه دامنه سیگنال به حدی برسد که باعث انحراف قابل ملاحظه شعاع الکترونی گردد، آن را ابتدا توسط تقویت کننده عمودی، تقویت می کنند.

برای اینکه شکل ثابتی روی صفحه اسیلوسکوپ داشته باشیم، لازم است تا سیگنال اعمالی به صفحات انحراف عمودی و سیگنال اعمالی به صفحات انحراف افقی با یکدیگر سنکرون (همزمان) باشند، بطوری که در هر بار از حرکت اشعه، انحراف افقی آن درست در لحظه مشخصی از سیگنال ورودی شروع شود. این وظیفه بر عهده بلوک (Trigger Circuit) می باشد که بعداً راجع به آن توضیح خواهیم داد. بلوک (Delay Line) باعث تاخیری در حد نانو ثانیه روی سیگنال عمودی می شود. برای اینکه به لزوم چنین تاخیری پی ببریم باید این نکته را خاطر نشان ساخت که هر مدار الکترونیکی باعث ایجاد تاخیری ناخواسته در سیگنال می شود. از آنجایی که اکثریت مدارات اسیلوسکوپ در مسیر انحراف افقی قرار دارند، لذا برای جبران تاخیر زمانی ناچاریم تا یک خط تاخیر در مسیر سیگنال عمودی اضافه کنیم. بدون این تاخیر قسمت ابتدای سیگنال روی (CRT) ظاهر نمی شود. در عمل برای ساخت خط تاخیر از یک فیلتر تمام گذر (All Pass) استفاده می کنند.

۳-۱۲- لامپ اشعه کاتدی (Cathode Ray Tube)

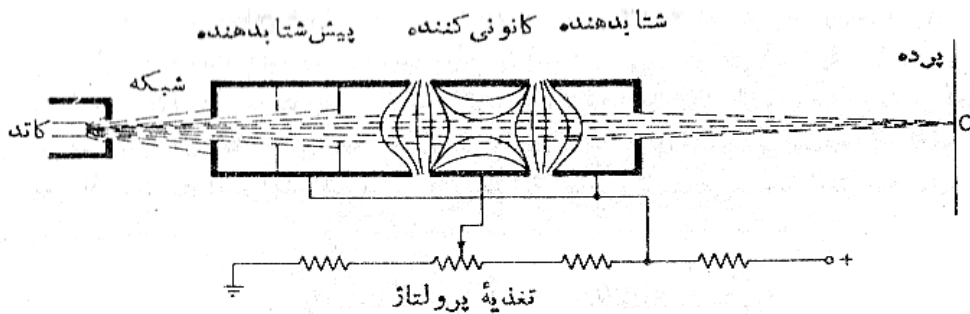
شکل (۲-۱۲) برش عرضی از یک لامپ اشعه کاتدی ساده را که در اسیلوسکوپ های فرکانس پایین استفاده می شود، نشان می دهد. البته در همین بخش به بررسی ساختمان لامپ های مدرن تر نیز پرداخته خواهد شد. در اثر حرارت حاصله از گرم کننده که در پشت کاتد قرار دارد، کاتد شروع به صدور الکترون می نماید. این الکترونها به سمت پتانسیل مثبت که روی آند اول قرار گرفته و در حد چند صد ولت است، حرکت کرده و شتاب می گیرند. البته قسمت شبکه کنترل (Control Grid)، تعداد الکترونها را که به سمت آند می آیند، کنترل نموده و بدین وسیله مقدار روشنایی نقطه نورانی روی صفحه را تنظیم می کند. هر چه ولتاژ منفی شبکه کنترل نسبت به کاتد بیشتر باشد، عبور الکترونها از آن کمتر شده و شدت روشنایی نقطه نورانی کمتر خواهد بود. این کنترل هم از طریق پتانسیومتر تنظیم روشنایی که در قسمت جلوی دستگاه قرار دارد و هم توسط ولتاژی که به ورودی Z اسیلوسکوپ واقع در پشت دستگاه می توان اعمال نمود، امکان پذیر است.



شکل (۱۲-۲) اجزای یک لامپ اشعه کاتدی ساده

آند اول نقش شتاب دهنده ابتدایی را دارد. همچنین این قسمت یک جزء از عدسی الکترواستاتیکی نیز می‌باشد که بعداً بیشتر درباره آن صحبت خواهد شد پس از شتاب دهنده اولیه آند متمرکز کننده قرار گرفته است و پس از آن نیز آند شتاب دهنده قرار دارد که برای آخرین مرحله باعث افزایش سرعت الکترونها می‌شود.

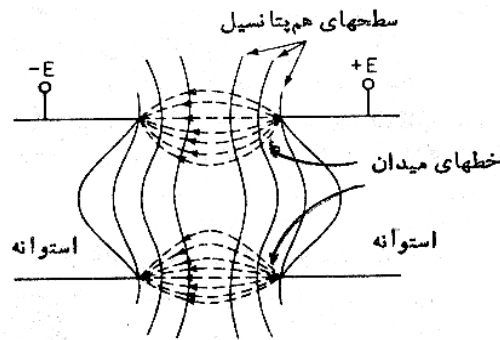
اگرچه تنها یکی از آندها بنام متمرکز کننده نامیده می‌شود ولی در عمل تمرکز اشعه توسط هر سه آند انجام می‌شود. بدون وجود این سه آند که نقش یک عدسی الکترواستاتیکی را دارند، نقطه نوار نی که روی صفحه تشکیل می‌شود، در اثر واگرایی شعاع الکترونی، پخش شده و غیر واضح خواهد بود. در شکل (۱۲-۳) عمل تمرکز اشعه توسط سه آند، با جزئیات بیشتری نشان داده شده است. آند وسطی دارای پتانسیل کمتری نسبت به دو آند دیگر است.



شکل (۱۲-۳) عمل تمرکز اشعه در لامپ اشعه کاتدی

برای اینکه عملکرد عدسی الکترواستاتیکی روشن شود، به شکل (۱۲-۴) توجه کنید. این شکل دو استوانه را

که دارای پتانسیل‌های متفاوتی می‌باشند، نشان می‌دهد. بخاطر اختلاف پتانسیل موجود، یک میدان الکتریکی بوجود می‌آید. سطوح هم‌پتانسیل عمود بر خطوط میدان بوده و بصورتی که در شکل نشان داده شده، در وسط استوانه بصورت کوژ می‌باشند. الکترونی‌هایی که جهت حرکت آنها عمود بر صفحه هم‌پتانسیل است، بدون تغییر جهت به مسیر خود ادامه می‌دهد. (البته اندازه سرعت آن عوض می‌شود). اگر راستای حرکت الکترون عمود بر صفحه هم‌پتانسیل نباشد، جهت حرکت آن عوض خواهد شد. دلیل این امر تغییر مؤلفه سرعت عمود بر صفحه هم‌پتانسیل می‌باشد.



شکل (۴-۱۲) سطوح هم‌پتانسیل برای دو استوانه که نسبت به هم دارای اختلاف پتانسیل می‌باشند

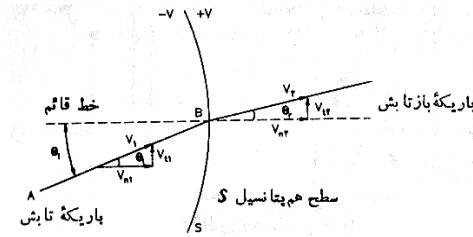
در شکل (۵-۱۲) این مطلب به وضوح نشان داده شده است. سطح S یک سطح هم‌پتانسیل بوده که طرف چپ آن دارای پتانسیل $-V$ و طرف راست آن دارای پتانسیل $+V$ است. هنگامی که الکترونی در راستای AB و با زاویه θ_i نسبت به نرمال S به سمت صفحه هم‌پتانسیل حرکت می‌کند در هنگام خروج از سمت دیگر آن، نیرویی در جهت نرمال S به آن وارد شده و باعث می‌شود تا زاویه θ_r را پیدا کند.

از طرف دیگر هیچ نیرویی در جهت مماس بر S به آن وارد نمی‌شود. بنابراین:

$$V_i = V_1 \sin(\theta_i) = V_2 \sin(\theta_r) \quad (۱۲-۱)$$

که در آن V_1 سرعت الکترون قبل از برخورد با صفحه S و V_2 سرعت الکترون پس از عبور از S می‌باشد. با جابجایی مختصری در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} = \frac{V_2}{V_1} \quad (۱۲-۲)$$



شکل (۱۲-۵) شکست اشعه الکترونی هنگام گذر از سطح هم پتانسیل

همانطوری که ملاحظه می شود، این رابطه نظیر رابطه شکست نور در هنگام عبور از مرز میان دو محیط با ضریب شکست متفاوت است. بنابراین سطوح هم پتانسیل می تواند نظیر یک عدسی عمل کرده و مسیر الکترونها را همگرا کند. در مجاورت دو استوانه که دارای پتانسیل های متفاوتی هستند، نیز چنین سطوح هم پتانسیلی وجود دارد. شعاع الکترونی هنگام عبور از سطوح هم پتانسیل اول در مسیر محور استوانه ها قرار می گیرند و با عبور از سطوح هم پتانسیل دوم روی صفحه فسفری متمرکز می شوند. برخلاف عدسی های نوری، در اینجا می توان با تغییر اختلاف پتانسیل بین استوانه ها، فاصله کانونی لنز الکترواستاتیکی را تنظیم و اشعه را دقیقاً روی صفحه فسفری متمرکز ساخت.

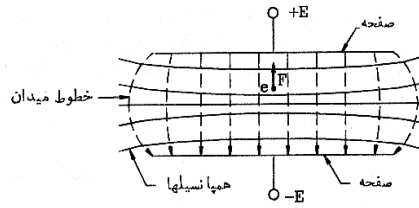
۴-۱۲- انحراف اشعه در میدان الکتریکی

هنگامی که یک الکترون در یک میدان الکتریکی یکنواخت مطابق شکل (۱۲-۶) قرار می گیرد، به آن نیرویی مثل F_e وارد می شود، بطوری که $F_e = -e\mathcal{E}$ است. در این رابطه e بار الکترون و \mathcal{E} شدت میدان الکتریکی است. در اثر این نیرو، الکترون به سمت الکتروود مثبت شتاب می گیرد. با استفاده از قانون دوم نیوتن شتاب حرکت الکترون در اثر این نیرو عبارت است از:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-e\mathcal{E}}{m} \quad (m/s^2) \quad (12-3)$$

که در آن a شتاب الکترون و m جرم آن می باشد.

در یک لامپ اشعه کاتدی میدان الکتریکی که برای انحراف اشعه بکار می رود عمود بر مسیر حرکت الکترون می باشد. برای بررسی انحراف اشعه به شکل (۱۲-۷) توجه نمائید. هنگامی که الکترون وارد ناحیه بین دو صفحه



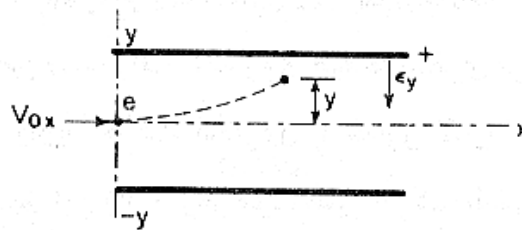
شکل (۱۲-۶) نیروی وارده بر الکترون در یک میدان الکتریکی یکنواخت

انحراف دهنده می شود دارای سرعت V_{ox} (در جهت x) بوده و حال آنکه میدان الکتریکی فقط دارای مؤلفه ϵ_y می باشد. بخاطر وجود این میدان، الکترون مؤلفه سرعتی در جهت Y نیز پیدا خواهد کرد. مطابق رابطه (۱۲-۳) شتاب حرکت الکترون در جهت Y برابر است با:

$$a_y = \frac{-e\epsilon_y}{m} \quad (12-4)$$

این رابطه نشان می دهد که الکترون شتاب ثابتی در جهت Y پیدا می کند. برای پیدا کردن جابجایی الکترون در اثر این شتاب می توان نوشت:

$$V_y = a_y t \quad (m/s)$$



شکل (۱۲-۷) مسیر الکترون متحرک در یک میدان الکتریکی یکنواخت

با استفاده از رابطه (۱۲-۴) و جایگذاری در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$V_y = \frac{-e\epsilon_y t}{m} \quad (m/s) \quad (12-5)$$

جابجایی الکترون در جهت Y را می توان توسط رابطه زیر حساب کرد.

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = -\frac{e\epsilon_y t^2}{2m} \quad (12-6)$$

که در آن از رابطه (۱۲-۴) استفاده شد. برای حذف زمان از رابطه فوق می توان از حرکت الکترون در جهت x که با سرعت ثابتی می باشد (چون هیچ نیرویی در این جهت بر الکترون وارد نمی شود) استفاده کرد.

$$x = V_{ox} t \Rightarrow t = \frac{x}{V_{ox}} (s) \quad (12-7)$$

با جایگذاری زمان از این رابطه در رابطه (۱۲-۶) مقدار جابجایی عمودی الکترون محاسبه می‌شود.

$$y = \left[\frac{-e\mathcal{E}_y}{2V_{ox}^2 m} \right] x^2 \quad (12-8)$$

همانطوری که ملاحظه می‌شود، حرکت الکترون بین صفحات انحراف دهنده به صورت درجه دوم است.

اما باید توجه داشت که به محض خروج الکترون از ناحیه بین صفحات، دیگر هیچ نیرویی بر الکترون وارد

نمی‌شود و لذا الکترون در مسیر مستقیم به حرکت خود تا رسیدن به صفحه فسفری، ادامه می‌دهد. در شکل

(۱۲-۸) مسیر حرکت الکترون و همچنین ابعاد صفحات انحراف دهنده کشیده شده است. هدف ما محاسبه میزان

انحراف اشعه روی صفحه فسفری می‌باشد که در شکل (۱۲-۸) با نشان D داده شده است. ابتدا زاویه حرکت

الکترون با محور X را در هنگام خروج از صفحات انحراف دهنده بدست می‌آوریم. این زاویه برابر شیب مسیر

حرکت الکترون در نقطه $x = l_d$ می‌باشد. با گرفتن مشتق از رابطه (۱۲-۸) و جایگذاری $x = l_d$ خواهیم داشت:

$$\tan(\theta) = \frac{dy}{dx} = -\frac{e\mathcal{E}_y l_d}{mV_{ox}^2} \quad (12-9)$$

بسادگی می‌توان دید که امتداد این شیب در نقطه O' که در وسط صفحات انحراف دهنده می‌باشد، محور X را

قطع می‌کند.

تمرین: مطلب فوق را با محاسبه نشان دهید.

اگر فاصله O' تا صفحه فسفری را L بنامیم، با استفاده از رابطه مثلث بسادگی D محاسبه

$$\text{می‌شود. } (\tan(\theta) = \frac{D}{L})$$

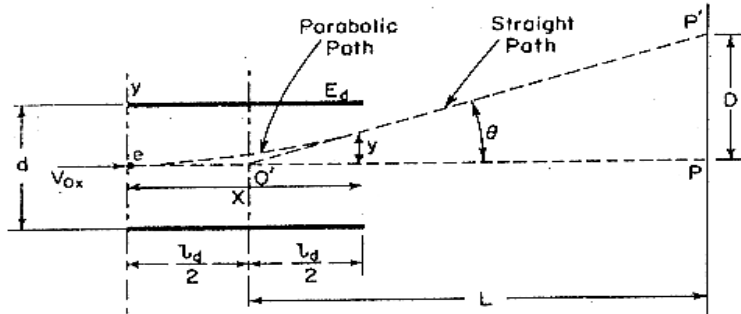
با اعمال این رابطه در رابطه (۱۲-۹) خواهیم داشت:

$$D = -L \frac{e\mathcal{E}_y l_d}{mV_{ox}^2} (m) \quad (12-10)$$

البته می‌توان بجای میدان \mathcal{E}_y معادل آن، نسبت اختلاف پتانسیل دو صفحه (v_d) به فاصله بین صفحات (d) را

قرار داد.

$$\varepsilon_y = \frac{v_d}{d} \quad (12-11)$$



شکل (۱۲-۸) انحراف اشعه الکترونی در CRT

همچنین اگر الکترون هنگام ورود به صفحات انحراف دهنده در اثر اختلاف پتانسیل v_a سرعت V_{ox} را بدست آورده باشد، می توان انرژی جنبشی آن را مطابق رابطه زیر نوشت:

$$\frac{1}{2}mv_{ox}^2 = -ev_a \quad (12-12)$$

با جایگذاری روابط (۱۲-۱۱) و (۱۲-۱۲) در رابطه (۱۲-۱۰)، به نتیجه نهایی می رسیم.

$$D = \frac{Ll_d v_d}{2dv_a} \quad (12-13)$$

پارامترهای موجود در این رابطه را مجدداً یادآوری می کنیم.

D = انحراف اشعه روی صفحه فسفری

L = فاصله مرکز صفحات انحراف دهنده از صفحه فسفری

l_d = طول مؤثر صفحات انحراف دهنده

d = فاصله بین صفحات انحراف دهنده

v_d = ولتاژ انحراف دهنده

v_a = ولتاژ شتاب دهنده

رابطه (۱۲-۱۳) بیان می‌دارد که برای مقادیر خاصی از ولتاژ شتاب دهنده و ابعاد CRT، انحراف اشعه روی صفحه فسفری بطور خطی متناسب با ولتاژ انحراف دهنده (v_d) است. البته در عمل این ولتاژ یک ولتاژ متغیر بوده که در نتیجه انحراف اشعه، تصویری روی صفحه فسفری پدید خواهد آورد. از آنجایی که اسیلوسکوپ یک وسیله اندازه‌گیری است، خطی بودن انحراف اشعه نسبت به ولتاژ مورد اندازه‌گیری حائز اهمیت است. یکی از مشخصه‌های CRT مقدار انحراف اشعه به ازای ولتاژ یک ولت است و آن را حساسیت لامپ گفته و با S نشان می‌دهند. در لامپ اشعه کاتدی، حساسیت برابر است با:

$$S = \frac{D}{v_d} = \frac{Ll_d}{2dv_a} \quad (۱۲-۱۴)$$

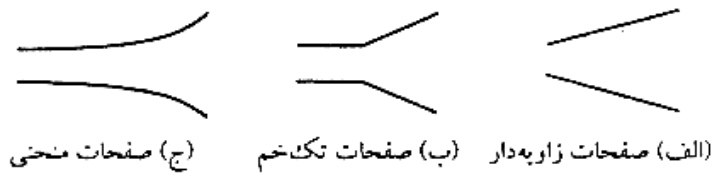
همانطوری که ملاحظه می‌شود، میزان حساسیت با افزایش ولتاژ شتاب دهنده کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که نمی‌توان v_a را به هر مقدار دلخواه کوچک انتخاب کرد. کوچک بودن v_a باعث می‌شود که شدت روشنایی نقطه نورانی روی صفحه کم شود. همچنین بزرگ بودن v_a اگرچه این مشکل را برطرف می‌سازد ولی همانطوری که گفته شد حساسیت لامپ را کاهش داده و لذا برای انحراف مشخصی از شعاع الکترونی نیاز به ولتاژ زیادی برای صفحات انحراف دهنده خواهیم داشت، که البته به خاطر محدودیتهای مداری این کار بسادگی مقدور نمی‌باشد. مقادیر نوعی برای حساسیت در محدوده $۱۰V/cm$ الی $۱۰۰V/cm$ می‌باشد.

در خاتمه اشاره‌ای به انحراف اشعه توسط میدان مغناطیسی و مزایا و معایب آن نسبت به انحراف با میدان الکتریکی می‌کنیم. برای انحراف اشعه توسط میدان مغناطیسی لازم است که جهت میدان عمود بر راستای شعاع الکترونی باشد. این کار توسط سیم‌پیچ یوک عملی است. با انجام محاسبات لازم می‌توان دید که میزان حساسیت با $\frac{1}{\sqrt{v_a}}$ متناسب است، در حالی که دیدیم در انحراف دهنده الکتریکی حساسیت با $\frac{1}{v_a}$ متناسب می‌باشد (v_a ولتاژ شتاب دهنده است). به همین خاطر افزایش ولتاژ شتاب دهنده در انحراف دهنده مغناطیسی حساسیت لامپ را خیلی کاهش نمی‌دهد. همچنین زاویه انحراف اشعه که در روش مغناطیسی قابل حصول

است، بیش از روش الکتريکی است. این عوامل باعث می‌شوند که همواره در سیستم تلویزیون از انحراف مغناطیسی استفاده شود، چرا که در این مورد تصویری روشن و بزرگ مورد علاقه است. یکی دیگر از محدودیتهای مهم انحراف دهنده مغناطیسی محدودیت آن در پاسخ به فرکانس‌های بالاست. طراحی یک تقویت کننده برای انحراف اشعه هنگامی که قرار باشد به یک سیم پیچ متصل گردد، عملاً در فرکانس‌های بالا ممکن نیست، در حالی که صفحات انحراف دهنده تنها دارای خاصیت خازنی کوچکی بوده و می‌توان تقویت کننده مناسبی را برای آن طرح کرد.

۵-۱۲- صفحات انحراف عمودی

در CRT ها دو دسته صفحه منحرف کننده با زوایای عمود بر یکدیگر قرار گرفته اند. این صفحات معمولاً درست بعد از دومین آند قرار می‌گیرند، به گونه ای که ابتدا صفحات انحراف عمودی و سپس صفحات انحراف افقی، در پی آنها قرار می‌گیرند. صفحات انحراف عمودی را صفحات Y نامیده و صفحات انحراف افقی را صفحات X می‌نامند. همانطور که در شکل (۹-۱۲) نشان داده شده است، ممکن است این صفحات به صورت موازی، زاویه دار یا خمیده باشند.



شکل (۹-۱۲) شکل‌های مختلف صفحات انحراف دهنده عمودی

در حالت زاویه دار و خمیده، فضای اسکن باریکه الکترونی زیاد می‌شود زیرا الکترون‌ها به زاویه بزرگ تری منحرف می‌شوند، بنابراین می‌توان از صفحه نمایش بزرگتر یا CRT با طول کمتر استفاده کرد. پاسخ فرکانسی پیشینه یک CRT تک صفحه با مدت لازم برای اینکه الکترون طول صفحات انحراف عمودی را پیماید محدود می‌شود. در فرکانس‌های بالا، یک الکترون ممکن است بیش از مدت یک سیکل سیگنال

اعمال شده به صفحات انحراف، بین صفحات انحراف عمودی قرار داشته باشد، که بدین ترتیب، انحراف خالص الکترون کاهش می یابد. زمان عبور را می توان با کم کردن طول صفحه انحراف یا زیاد کردن سرعت الکترون کاهش داد. البته، اجرای هر یک از این اقدامات به منظور کاهش زمان عبور، موجب تنزل پارامترهای دیگر *CRT* می شود. مساله زمان عبور را می توان با تقسیم کردن صفحات انحراف به چند صفحه کوچکتر حل کرد. هر کدام از این صفحات با اجزای تاخیر به هم متصل شده اند. این اجزا، به طرز موثری، خط انتقالی تشکیل می دهند که مدت انتشار سیگنال را با مدت عبور الکترون های باریکه در طول دوره ای که بین صفحات انحراف قطعه قطعه شده قرار دارند تطبیق می دهند. این کار، انحراف باریکه را در فرکانس های بالا افزایش می دهد و وقتی یک الکترون بین صفحات انحراف عبور می کند، انحراف پیوسته ای پیدا می کند. به عبارت دیگر در طول مسیر، همواره ولتاژ یکسانی به آن اعمال می شود. برخلاف حالت قبل که در طی مسیر، ولتاژ های متفاوتی به آن اعمال شده و نهایتاً انحراف حاصله ناشی از برآیندی از این ولتاژ ها بود)

۶-۱۲- صفحه حساس CRT

هنگامی که بیم الکترونی به جدار داخلی لامپ برخورد می کند یک لکه نورانی ایجاد می شود. این حالت ناشی از فسفر موجود در جدار داخلی لامپ می باشد. الکترونی هایی که دارای انرژی جنبشی هستند، هنگام برخورد با این لایه باعث برانگیخته شدن الکترونی های فسفر شده و نتیجتاً انرژی با طول موج بلندتری که قابل رویت است، صاعع می کنند. به این خاصیت تشعشع مجدد هنگام برانگیختگی که در موادی نظیر فسفر یا اکسید روی وجود دارد، فلورسانس گفته می شود. فسفر دارای یک مشخصه ثانوی به نام فسفرسانی است، یعنی در یک دوره زمانی بعد از حذف منبع تحریک، باز هم گسیل نور را ادامه می دهد. طول مدتی که فسفرسانی ادامه می یابد، معیاری از میزان پایداری ماده فلورسان است. پایداری را معمولاً به سه گروه کوتاه در حدود میکروثانیه؛ متوسط در حدود چند میلی ثانیه؛ و طولانی در حدود ثانیه تقسیم می کنند. در جدول (۱-۱۲) چندین فسفر مختلف و بعضی از مشخصات و کاربردهایشان فهرست شده است. شدت روشنایی تصویر ایجاد شده در *CRT* به عوامل متعددی

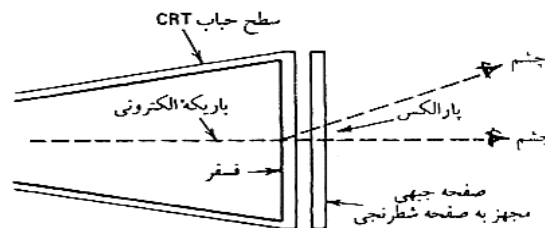
بستگی دارد. اول اینکه هر چه جریان بیم الکترونی بیشتر باشد این روشنایی بیشتر است. دوم اینکه هر چه انرژی الکترونها بیشتر باشد (ولتاژ شتاب دهنده بیشتر) این روشنایی بیشتر است. سوم اینکه مدت زمانی که بیم الکترونی سطح مشخصی از صفحه را جاروب می کند، در شدت روشنایی مؤثر است. بعبارت دیگر اگر سرعت حرکت بیم زیاد باشد، تصویر ایجاد شده کم نورتر بنظر می رسد.

جدول (۱-۱۲) مشخصات سفرهای مختلف

نوع سفر	رنگ مسیر سفر	پایداری	کاربرد
P_1	زرد- سبز	متوسط	CRO با کاربرد عمومی
P_2	آبی- سبز	متوسط	مشاهده سیگنال های با سرعت کم و متوسط
P_4	سفید	کوتاه	لامپ تصویر تلویزیون
P_7	آبی	طولانی	مشاهده سیگنال های با سرعت کم
P_{11}	ارغوانی- آبی	کوتاه	کاربردهای عکاسی
P_{31}	زرد- سبز	متوسط	CRO های با کاربرد عمومی (درخشنده ترین سفر موجود)

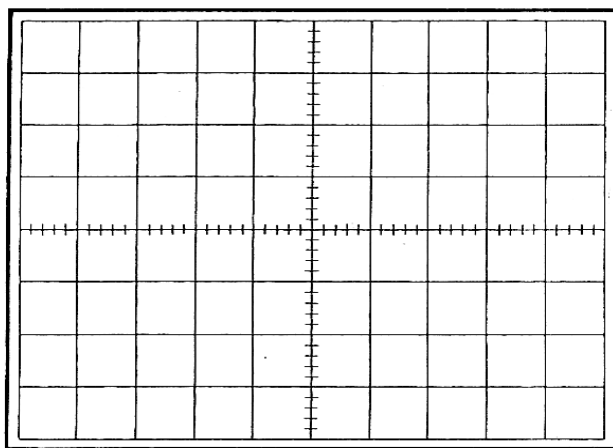
۷-۱۲- صفحه شطرنجی

صفحه شطرنجی، شبکه ای از خطها است که هنگام انجام اندازه گیری های زمان و دامنه با نوسان نما به کار می رود. صفحه شطرنجی ممکن است به روش حک کردن یا به روش سیلک اسکرین روی صفحه پلاستیکی بر روی CRT ایجاد شود، یا ممکن است به صورت شیمیایی همراه با فسفر روی صفحه CRT نشانده شده باشد.



شکل (۱۰-۱۲) توضیح خطای پارالکس

اگر صفحه شطرنجی روی صفحه پلاستیکی قرار گرفته باشد، باید روی سطح داخلی قرار گیرد، یعنی سطحی که در تماس با صفحه است. این کار، نمایش تولیدی توسط باریکه الکترونی و صفحه شطرنجی را در یک صفحه قرار می‌دهد و این امر، خطاهای اندازه‌گیری را که «خطاهای پارالکس» نامیده می‌شود حذف می‌کند. خطاهای پارالکس هنگامی به وجود می‌آیند که مسیر باریکه و صفحه شطرنجی در صفحات متفاوتی باشند و چشم مشاهده‌گر، همان‌طور که در شکل (۱۰-۱۲) دیده می‌شود، از خط مستقیم دید منحرف شده باشد. با اینکه از CRT های با اندازه‌های متفاوت ممکن است استفاده شود، صفحات شطرنجی، همان‌طور که در شکل (۱۱-۱۲) نشان داده شده است، معمولاً در الگوهای 8×10 ساخته می‌شوند.



شکل (۱۱-۱۲) صفحه شطرنجی CRT

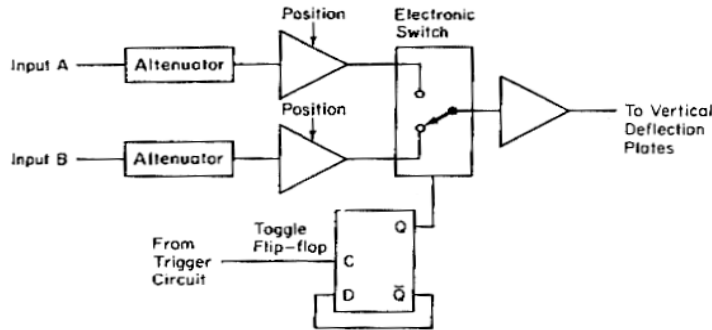
همان‌طور که دیده می‌شود، ۸ تقسیم‌بندی عمودی اصلی و ۱۰ تقسیم‌بندی افقی اصلی داریم. برچسب‌های روی کنترل‌های پانل جلویی نوسان‌نما، به تقسیم‌بندی‌های اصلی اشاره می‌کند. تقسیم‌بندی‌های اصلی، یا برحسب اینچ و یا برحسب سانتی‌متر هستند که برحسب سانتی‌متر معمول‌تر است. خط‌های کوچک بین تقسیم‌بندی‌های بزرگ روی خطوط وسطی افقی و عمودی، زیر تقسیم‌بندی‌ها را نشان می‌دهند. علاوه بر صفحه شطرنجی استاندارد که در شکل (۱۱-۱۲) آمده است، بعضی صفحات شطرنجی شامل علائمی برای اندازه‌گیری زمان صعود هستند. گستره وسیعی از صفحات شطرنجی برای گزینش در کاربردهای خاص را تولیدکنندگان عمده نوسان‌نماها فراهم کرده‌اند.

۸-۱۲-اسیلوسکوپ چند کاناله

در اغلب مدارات دیدن دو یا چند سیگنال بطور همزمان بسیار مطلوب و مورد نیاز است. به همین منظور برخی از CRT ها دارای دو تفنگ الکترونی هستند. هر یک از تفنگ ها دارای صفحات انحراف دهنده عمودی مختص خود بوده، در حالی که صفحات انحراف افقی برای هر دو مشترک است. این نوع CRT، لامپ اشعه کاتدی دو بیمه^۱ نامیده می شود. از این روش در برخی حالت های خاص که لزوماً نیاز به دو کانال کاملاً مجزا و ایزوله از هم باشد، استفاده می شود. یک روش متداولتر و ارزانتر، روش دو کاناله^۲ می باشد. در این روش تنها یک تفنگ الکترونی وجود دارد.

برای نمایش دو سیگنال در اسیلوسکوپ دو کاناله دو راه وجود دارد. اول اینکه یک سیگنال بطور کامل روی صفحه نشان داده شود و پس از آن سیگنال دوم نمایش داده شود. در عمل بخاطر خاصیت فسفرسانس به نظر می رسد که دو سیگنال همزمان روی صفحه اسیلوسکوپ وجود دارند. شکل (۱۲-۱۲) بلوک دیاگرام لازم برای این روش را نشان می دهد. هر بار که موج دندانه ای شروع می شود، سوئیچ تغییر وضعیت می دهد. بنابراین در یک بار انحراف افقی، سیگنال اعمالی به صفحات انحراف عمودی از ورودی A بوده و در انحراف افقی بعدی این ورودی، سیگنال B است. عیب این روش در این است که اگر سیگنال ورودی غیرپریودیک باشد، تصویر صحیحی از آن ایجاد نمی شود. همچنین در سرعت های کم، هنگامی که سرعت جاروب کند است، عمل نشان دادن دو سیگنال بصورت یک در میان کاملاً مشهود است. در اسیلوسکوپ دو کانال، نمایش سیگنال به این صورت باز زدن کلید ALT (مخفف *Alternate*) امکانپذیر است.

روش دوم بسیار شبیه به روش قبل بوده مگر اینکه در اینجا سوئیچ شکل (۱۲-۱۲) با سرعت خیلی زیادی بین دو حالت، تغییر وضعیت می دهد. بنابراین در روی صفحه نمایش قسمتهایی از سیگنال A را به همراه قسمتهایی از سیگنال B که یک در میان پشت سر هم قرار گرفته اند، می توان دید. این روش بنام $CHOP$ نامیده شده و در

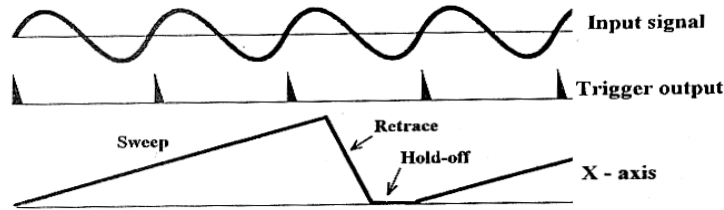


شکل (۱۲-۱۲) بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ دو کانال

اسیلوسکوپ دو کانال با کلیدی به همین نام قابل انتخاب می‌باشد. البته بخاطر محدودیت سرعت سوئیچ، این روش در نمایش سیگنالهای با فرکانس بالا ضعف داشته و سیگنال را بصورت منقطع نشان می‌دهد. در حالی که برای فرکانس‌های کم بسیار مطلوب بوده و عیب روش *ALT* را می‌پوشاند، در واقع این دو روش مکمل هم می‌باشند.

۹-۱۲- سیستم انحراف افقی

همانطوری که قبلاً گفته شد، در یک اسیلوسکوپ، انحراف افقی اشعه باید با یک سرعت ثابت صورت گیرد که به آن جاروب خطی می‌گویند. توسط یک ولتاژ دنداناره‌ای که در بلوک ژنراتور مبنای زمان (بلوک دیاگرام شکل (۱۲-۱)) ایجاد می‌شود، این عمل صورت می‌گیرد. سرعت حرکت اشعه روی صفحه نمایش متناسب با شیب موج دنداناره‌ای بوده و در روی اسیلوسکوپ با استفاده از سلکتور *Time/Div* قابل تنظیم است. برای نمایش سیگنالهای با فرکانس بالا این سرعت نیز باید بیشتر باشد. زمان شروع انحراف اشعه بسیار مهم است. برای اینکه شکل موج ساکنی روی صفحه نمایش داشته باشیم لازم است تا انحراف افقی اشعه، هر بار از محل مشخصی از سیگنال ورودی شروع شود. این وظیفه بر عهده بلوک تریگر در شکل (۱۲-۱) است. شکل (۱۲-۱۳) شکل موج‌های مربوطه را بطور نمونه نشان می‌دهد. در این شکل، پالسهای تریگر با مقایسه سیگنال ورودی و یک مقدار آستانه بنام سطح تریگر (سطح تریگر در این شکل صفر می‌باشد) ساخته می‌شود. موج دنداناره‌ای همزمان با پالس تریگر شروع می‌شود و باعث انحراف اشعه می‌گردد. سه قسمت را می‌توان در این



شکل (۱۲-۱۳) عمل همزمانی در اسیلوسکوپ توسط پالس های تریگر

موج تفکیک کرد. قسمت اول زمانی است که موج دنداناره اره‌ای با شیب ثابتی افزایش می‌یابد. به این قسمت زمان جاروب می‌گویند. پس از اینکه دامنه موج به مقدار مشخصی که متناظر با انحراف کامل اشعه است رسید، زمان بازگشت را خواهیم داشت. در پایان این زمان اشعه به ابتدای صفحه بر می‌گردد. برای اینکه مسیر برگشت اشعه روی صفحه *CRT* ظاهر نشود و شکل موج مورد نمایش را خراب نکند، در حین برگشت اشعه با دادن فرمان به الکتروود کنترل، اشعه را محو می‌کنند. پس از این زمان، برای مدتی سیگنال جاروب صفر می‌ماند که به آن زمان توقف می‌گویند. هر گاه یک پالس تریگر در این زمان وارد شود مراحل گفته شده در بالا عیناً تکرار می‌گردد. به این روش تریگر مدنرمال می‌گویند. در اسیلوسکوپ در مجموعه کلیدهای انتخاب نوع تریگر، اگر کلید *Normal* فشرده شود، عمل تریگر به صورت تریگر به صورت فوق انجام می‌شود. البته با انتخاب کلیدی که به صورت $+/-$ در اسیلوسکوپ مشخص شده می‌توان تعیین کرد که پالسهای تریگر در جهت صعودی ایجاد شود و یا در جهت نزولی و بنابراین شکل موج دیده شده نیز به تبع آن متفاوت خواهد بود. در ادامه به اهم روش‌های دیگری که برای تریگر وجود دارد اشاره می‌شود.

۱-۹-۱۲- مد اتوماتیک (Auto Triggering Mode)

در مد نرمال اگر سیگنالی به ورودی اسیلوسکوپ داده نشود و یا یک مقدار *DC* داده شود پالسهای تریگر بوجود نیامده و موج جاروب ساخته نمی‌شود. این بدین معنی است که هیچ ردی از اشعه بر روی صفحه نخواهیم داشت که البته در بسیاری از موارد حالت مطلوبی نمی‌باشد. در مد اتوماتیک موج جاروب دائماً ایجاد می‌شود و تنها در صورت حضور سیگنال ورودی با آن سنکرون می‌شود. اگرچه در بیشتر موارد روش

تریگر اتوماتیک انتخاب می‌شود ولی برای نمایش سیگنالهای پیچیده و یا آلوده به نوبت شانس اینکه بتوان در مد نرمال و با تنظیم سطح تریگر موج ایستایی را روی CRT نمایش داده بیشتر است.

۲-۹-۱۲- تریگر خارجی (External Trigger)

برخی از مواقع سگینالی که قرار است نمایش داده شود شکل موج کاملاً پریودیک نداشته و یا به صورتی است که نمی‌توان با روش‌های قبل شکل ایستایی را روی CRT ایجاد نمود. بعنوان مثال یک موج مربعی که مدولاسیون FSK شده باشد را می‌توان از این جمله بر شمرد. در اینگونه موارد اگر سیگنال پریودیکی وجود داشته باشد که به نوعی با موج مورد نمایش سنکرون باشد، می‌توان از آن برای سنکرون کردن سیگنال جاروب اسیلوسکوپ استفاده کرد. در این حالت کافی است که موج سنکرون را به ورودی *Ext. Trigger Input* اسیلوسکوپ داده و سوئیچ مربوطه را که به نام *Ext. Trig.* است، انتخاب نمائیم. بدین ترتیب می‌توان شکل ایستایی را روی CRT مشاهده نمود.

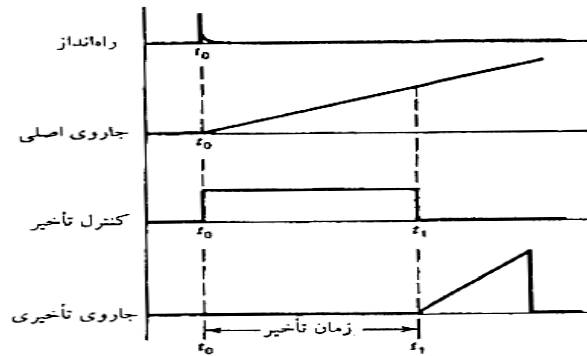
۳-۹-۱۲- انتخاب سیگنال تریگر

در حالت عادی مستقیماً از سیگنال ورودی جهت سنکرون کردن موج جاروب استفاده می‌شود. البته این امکان در اسیلوسکوپ وجود دارد که از مؤلفه AC سیگنال ورودی جهت این امر استفاده شود. دو حالت فوق در اسیلوسکوپ، با قرار دادن مجموعه کلید *Source* به ترتیب روی DC و AC قابل انتخاب می‌باشد. همچنین این امکان وجود دارد که مؤلفه‌های فرکانس بالا را از سیگنال ورودی حذف کرده و سپس آن را به قسمت تریگر اعمال نمود. در این حالت باید کلید مربوطه را روی *HF Rej.* قرار داد. در حالت برعکس آن که لازم است مؤلفه‌های فرکانس پایین را حذف نمود، باید کلید مربوطه در وضعیت *LF Rej.* قرار بگیرد.

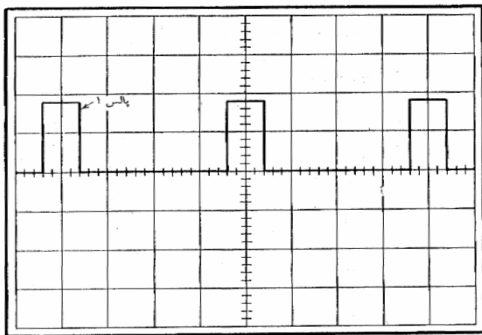
در اغلب اسیلوسکوپ‌ها دو انتخاب دیگر بنام *TV-H* و *TV-V* وجود دارد که به ترتیب برای سنکرون شدن با پالسهای افقی و عمودی در تلویزیون مناسب می‌باشد. در اسیلوسکوپ‌های دو کانال این آزادی وجود دارد که سیگنال تریگر را از هر یک از کانالها انتخاب نمود.

۴-۹-۱۲- موج جاروب تاخیر یافته

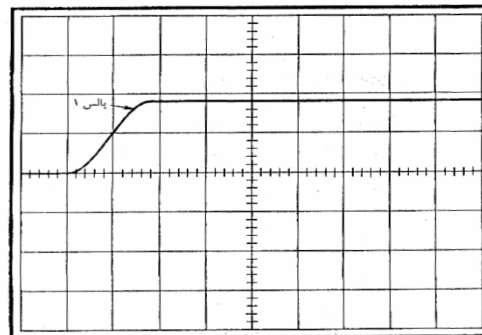
برخی از مواقع لازم است تا قسمتی از شکل موجی را که نمایش داده می‌شود، با دقت بیشتری نشان داد. اگر سلکتور $Time/Div$ روی عدد کمتری تنظیم شود، این احتمال وجود دارد که آن تکه از شکل موج که مد نظر است از صفحه خارج شود. برای فائق آمدن بر این مشکل، از روش جاروب تاخیر یافته استفاده می‌کنند. شکل (۱۴-۱۲) روش ایجاد جاروب تاخیر یافته را نشان می‌دهد. روش کار به این ترتیب است که از موج جاروب اصلی یک موج جاروب دیگر که نسبت به جاروب اصلی تاخیر دارد ساخته می‌شود. این کار با مقایسه جاروب اصلی با یک مقدار آستانه انجام می‌شود.



شکل (۱۴-۱۲) شکل موجهای راه اندازی جاروب تاخیری



شکل (۱۲-۱۶) صفحه نمایش با سرعت جاروب $5 \mu s/cm$



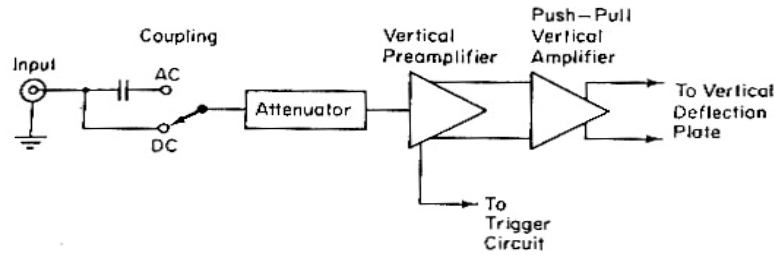
شکل (۱۲-۱۵) صفحه نمایش با سرعت جاروب $0.1 \mu s/cm$

البته مقدار این آستانه از روی پانل اسیلوسکوپ قابل تنظیم و لذا مقدار تاخیر قابل تنظیم می‌باشد. همچنین شیب جاروب تاخیر یافته نیز بطور مستقل قابل انتخاب است، عمل نمایش موج روی CRT بصورت یک در میان توسط جاروب اصلی و جاروب تاخیر یافته انجام می‌شود. بدین ترتیب روی CRT دو موج مشاهده خواهد شد.

یک موج به صورت عادی و موج دیگر که به لحاظ زمانی گسترده شده است. بدین ترتیب می توان قسمتهایی از شکل موج را که دارای تغییرات سریع است بصورت کاملاً واضح مشاهده کرد.

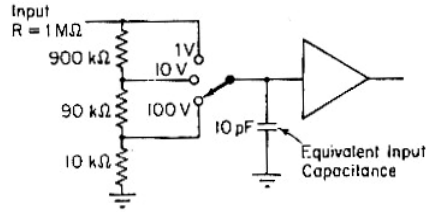
۱۰-۱۲- سیستم انحراف عمودی

وظیفه این قسمت، تقویت سیگنال به اندازه‌ای است که بتوان آن را به صفحات انحراف عمودی اعمال کرد. شکل (۱۷-۱۲) بلوک دیاگرام قسمت انحراف عمودی را نشان می‌دهد. سیگنال مورد سنجش وارد اسیلوسکوپ شده و بسته به انتخاب DC یا AC بطور مستقیم و یا از طریق کوپلاژ خازنی به تضعیف کننده اعمال می‌شود. در صورتی که سیگنال دارای مؤلفه DC بزرگی باشد و هدف، دیدن تغییرات کوچک AC روی آن باشد، انتخاب کوپلاژ AC این امکان را می‌دهد که مقدار DC حذف شده و با انتخاب مناسب سلکتور $Volt / Div$ ، این تغییرات کوچک را بخوبی مشاهده کرد.



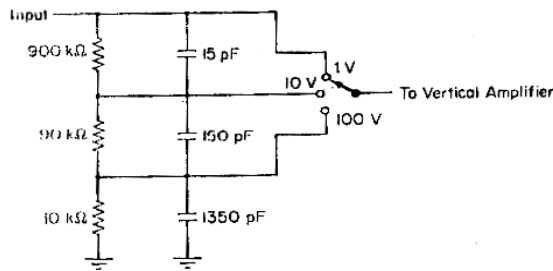
شکل (۱۷-۱۲) بلوک دیاگرام قسمت عمودی اسیلوسکوپ

باید توجه داشت که در حالت کوپلاژ AC ، فرکانس قطع پایین در حد چند ده هرتز بوده و لذا اگر فرکانس سیگنال خیلی کوچک باشد، قرائت دامنه سیگنال روی اسیلوسکوپ صحیح نخواهد بود. در این حالت باید حتماً از کوپلاژ DC استفاده کرد. امپدانس ورودی اسیلوسکوپ نسبتاً زیاد بوده (در حد $1 M\Omega$) بطوری که آنرا برای اندازه‌گیری ولتاژ مناسب می‌سازد. وظیفه تضعیف کننده تنظیم حساسیت اسیلوسکوپ می‌باشد که توسط سلکتور $Volt / Div$ می‌توان آنرا انتخاب کرد. شکل (۱۸-۱۲) نمونه ساده‌ای از تضعیف کننده مقاومتی را نشان می‌دهد. در این نمونه، امپدانس ورودی همواره ثابت و بستگی به وضعیت سوئیچ ندارد (با فرض بالا بودن امپدانس ورودی تقویت کننده). علیرغم این مطلب، تغییر وضعیت سوئیچ باعث تغییر امپدانس



شکل (۱۲-۱۸) تضعیف کننده بدون جبران فرکانسی

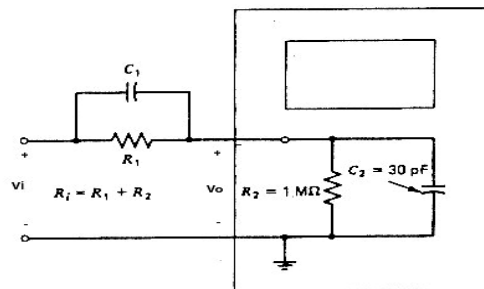
دیده شده از طرف تقویت کننده شده و بخاطر تغییر ثابت زمانی (RC)، پاسخ فرکانسی کل مجموعه وابسته به وضعیت سوئیچ خواهد بود که این موضوع بسیار نامطلوب است. برای رفع این مشکل از تقویت کننده جبران شده مطابق شکل (۱۲-۱۹) استفاده می شود که در آن تقسیم کننده های خازنی موجود باعث بهبود پاسخ فرکانسی می شوند.



شکل (۱۲-۱۹) تضعیف کننده جبران شده

۱۲-۱۱- پروب های با امپدانس بالا (Probe) های با امپدانس بالا

پروب های بیرونی امپدانس بالا، برای افزایش مقاومت ورودی و کم کردن اثر خازن ورودی یک نوسان نما به کار می روند.



شکل (۱۲-۲۰) پروب بیرونی با امپدانس بالا

همانطور که در شکل (۲۰-۱۲) آمده است، ترکیب یک مقاومت و یک خازن را می‌توان به یک نوسان‌نما اضافه کرد. اثر این کار، انتقال پایانه ورودی از پانل جلویی به انتهای پروب خواهد بود. برای حذف اثر خازن ورودی نوسان‌نما بایستی داشته باشیم:

$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

ولی در عمل داریم:

$$V_o = V_i \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = V_i \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} \Rightarrow Y_1 = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1, Y_2 = \frac{1}{R_2} + j\omega C_2$$

$$V_o = V_i \frac{\sqrt{G_1^2 + (\omega C_1)^2} \angle \text{tg}^{-1}\left(\frac{\omega C_1}{G_1}\right)}{\sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (\omega C_1 + \omega C_2)^2} \angle \text{tg}^{-1}\left(\frac{\omega(C_1 + C_2)}{G_1 + G_2}\right)} \quad (12-15)$$

برای اینکه رابطه V_o بر حسب V_i خطی شود بایستی اختلاف زوایای صورت و مخرج کسر صفر شود، شرط لازم برای تحقق این موضوع مطابق رابطه (۱۶-۱۲) بدست می‌آید:

$$\text{tg}^{-1} \frac{\omega C_1}{G_1} = \text{tg}^{-1} \frac{\omega(C_1 + C_2)}{G_1 + G_2} \Rightarrow \frac{C_1}{R_2} = \frac{C_2}{R_1} \Rightarrow R_1 C_1 = R_2 C_2 \quad (12-16)$$

اکنون فرض کنید در شکل (۲۰-۱۲) بخواهیم سیگنال ورودی را ۱۰ برابر تضعیف کنیم. در اینصورت خواهیم داشت:

$$V_o = V_i \frac{G_1 + j\omega C_1}{(G_1 + G_2) + j\omega(C_1 + C_2)} = \frac{1}{10} V_i \Rightarrow R_1 = 9R_2, C_1 = \frac{1}{9} C_2 \quad (12-17)$$

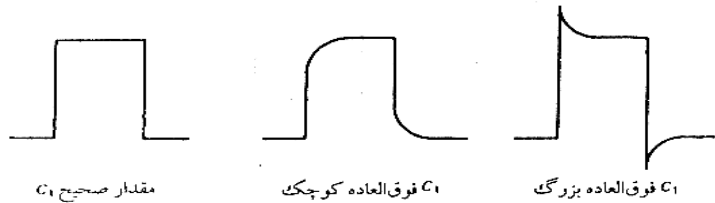
با این ترکیب $R_i = R_1 + R_2 = 10R_2$ و مقاومت ورودی ۱۰ برابر حالت قبل می‌شود ولی در عوض ولتاژ

اعمالی به دستگاه $\frac{1}{10}$ مقدار واقعی شده و همچنین حساسیت ده برابر کمتر خواهد شد. به چنین ترکیبی

از R_1 و C_1 پروب $10 \times$ گویند. مورد استفاده این ترکیب جایی است که مدار مورد سنجش دارای مقاومتی است

که مقدار آن با مقاومت حالت $1 \times$ قابل قیاس بوده و اثر بارگذاری مشهود باشد.

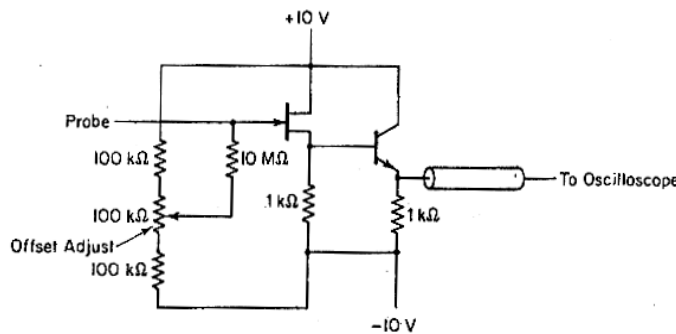
خازن C_1 معمولاً برای جبران سازی اختلافات خازن ورودی در نوسان نماهای مختلف، قابل تنظیم است. اگر خازن پروب به مقدار غلطی تنظیم شود، نوسان نما مشخصه‌های پاسخ فرکانسی ضعیفی (نامناسبی) از خود نشان می‌دهد. تنظیم پروب معمولاً از طریق نمایش یک موج مربعی روی صفحه CRT واری می‌شود.



شکل (۲۱-۱۲) اثر جبران سازی پروب بروی یک موج مربعی

هرگاه پروب به درستی جبران سازی نشود، طبق شکل (۲۱-۱۲) بر روی موج مربعی تاثیر معکوس خواهد گذاشت. هرگاه مقدار خازن C_1 فوق العاده کوچک باشد، لبه بالارونده موج مربعی گرد می‌شود، اما اگر مقدار خازن C_1 فوق العاده بزرگ باشد، لبه بالارونده موج مربعی، فراجاهش خواهد داشت.

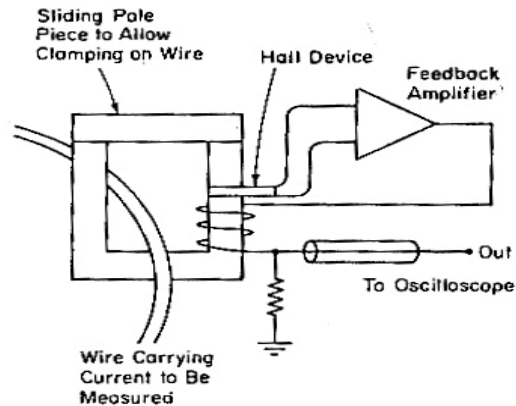
پروب‌های دیگری نیز بسته به کاربرد، در اسیلوسکوپ استفاده می‌شوند. از جمله می‌توان به پروب اکتیو اشاره کرد. شکل (۲۲-۱۲) نمونه‌ای از پروب اکتیو را نشان می‌دهد. مزیت این نوع پروب در این است که می‌تواند ظرفیت خازنی خیلی کمی داشته باشد و در عین حال سیگنال را بدون تضعیف انتقال دهد.



شکل (۲۲-۱۲) مدار یک پروب اکتیو

برای اینکه مدار موثری داشته باشیم، باید آن را در ابتدای پروب قرار داد. به این ترتیب دیگر خازن کابل که در حالت عادی وجود داشت، برطرف می‌شود. در طرف اسیلوسکوپ، انتهای کابل را به امپدانس که معادل

امپدانس کابل باشد، متصل کرده و بدین ترتیب اثر تضعیف فرکانس بالای کابل ظاهر نمی‌شود. از معایب پروب اکتیو محدود بودن رنج دینامیکی آن است، بطوریکه تنها سیگنالهایی را که در محدوده کار تقویت کننده FET باشد می‌توان به آن اعمال کرد. پروب مهم دیگری که در اسیلوسکوپ کاربرد دارد، پروب جریان است. این پروب می‌تواند دور یک سیم حامل جریان قرار گرفته و بدون هیچگونه تماس الکتریکی، جریان سیم را در رنج فرکانسی DC تا 50 MHz اندازه‌گیری نماید.



شکل (۲۳-۱۲) پروب جریان

پروب جریان شامل دو عنصر می‌باشد. یکی هسته برای تبدیل جریان به شار و دیگری یک سنسور هال برای تبدیل شار به ولتاژ. شکل (۲۳-۱۲) ساختمان داخلی این پروب را نشان می‌دهد. همانطوری که می‌دانیم، در سنسور هال ولتاژی متناسب با میدان مغناطیسی بوجود می‌آید. میدان حاصل از سیم حامل جریان توسط هسته مغناطیسی به سنسور هال و سیم پیچ کوپل می‌شود. همانطوری که مشاهده می‌شود، جریان سیم پیچ از تقویت کننده فیدبک تامین می‌شود. جهت فیدبک اعمالی طوری است که همواره باعث صفر شدن میدان مغناطیسی در هسته می‌شود. اگر جریان سیم مورد اندازه‌گیری i_1 و تعداد دور سیم پیچ n و جریان آن i_2 باشد خواهیم داشت:

$$i_1 = ni_2$$

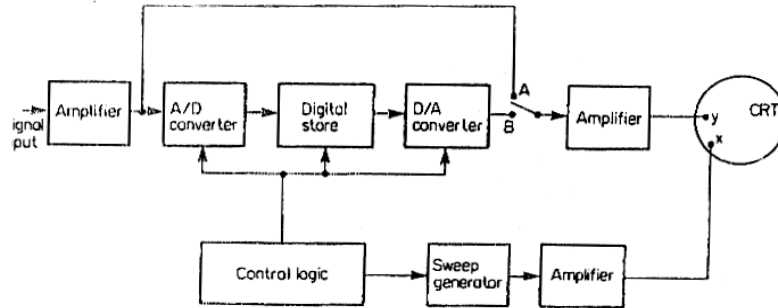
$$V_o = Ri_2 \Rightarrow V_o = \frac{R}{n}i_1 \quad (12-18)$$

همانطوری که ملاحظه می شود یک رابطه خطی بین ولتاژ خروجی (که به اسیلوسکوپ داده میشود) و جریان مورد اندازه گیری وجود دارد.

۱۲-۱۲- اسیلوسکوپ دیجیتالی

هنگامی که بخواهیم یک سیگنال غیرپریودییک را مشاهده کنیم، استفاده از اسیلوسکوپ های عادی عملاً غیرممکن است و سیگنال مورد نظر تنها برای مدت کوتاهی روی CRT ظاهر می شود. همچنین برای دیدن سیگنالهای پریودییک که دارای فرکانس کمی می باشند باید سرعت جاروب اشعه را کم کرده و این باعث می شود تا تصویر کاملی روی صفحه اسیلوسکوپ ایجاد نشود و عملاً آنچه که مشاهده می شود یک نقطه نورانی در حال حرکت خواهد بود. دو راه برای چیره شدن بر این مشکلات وجود دارد. راه حل اول استفاده از لامپ های اشعه کاتدی مخصوص است که قدرت ذخیره شکل موج را داشته باشند. اساس کار این لامپ ها بر این اصل استوار است که هنگام عبور بیم الکترونی از روی صفحه اسیلوسکوپ، ماده مخصوصی که روی فسفر لامپ قرار دارد باردار می شود (بار مثبت)، یک تفنگ دیگر در این لامپ ها قرار دارد بطوری که الکترونیایی که از آن خارج می شوند بصورت گسترده در تمام صفحه پخش می شوند. الکترونیایی که به ناحیه باردار می رسند، بخاطر بار مثبت موجود، با سرعت بیشتری به صفحه برخورد کرده و باعث روشن شدن آن نقاط می شوند و حال آنکه در سایر نقاط سرعت الکترونها کم و لذا روشنایی قابل ملاحظه ای نخواهیم داشت. بدین ترتیب شکل موج سیگنال تا مدت ها روی صفحه باقی می ماند.

با پیشرفت تکنولوژی و بالارفتن چگالی ساخت مدارات بصورت مجتمع و همچنین افزایش سرعت آی سی های آنالوگ به دیجیتال، روش دیگری برای نمایش سیگنالهای کند و یا غیر پریودییک مورد استفاده قرار گرفت که براساس نمونه گیری از سیگنال و تبدیل آن به دیجیتال و ذخیره آن می باشد. به اسیلوسکوپ هایی که از این روش برای نمایش سیگنال استفاده می کنند، اسیلوسکوپ دیجیتالی می گویند. شکل (۲۴-۱۲) بلوک دیاگرام این اسیلوسکوپ ها را بطور نمونه نشان می دهد.



شکل (۲۴-۱۲) بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ دیجیتالی

هنگامی که کلید موجود در شکل در وضعیت A قرار گیرد، عملاً یک اسیلوسکوپ معمولی خواهیم داشت و برای وضعیت B سوئیچ، مدارات مربوط به اسیلوسکوپ دیجیتالی وارد مدار می‌شود. سیگنال تقویت شده توسط A/D نمونه‌برداری شده و به دیجیتال تبدیل می‌شود. این اطلاعات در قسمت ذخیره‌سازی دیجیتال که یک RAM می‌باشد ذخیره می‌شود. بنابراین در RAM تعداد مشخصی عدد خواهیم داشت که متناظر با نمونه‌های سیگنال آنالوگ ورودی می‌باشند. برای نمایش این اطلاعات روی CRT می‌توان این اطلاعات را از RAM فراخوانده و توسط مبدل D/A به آنالوگ تبدیل کرده و نشان داد. مطلب مهم این است که می‌توان عمل خواندن محتوای حافظه را با سرعت نسبتاً بالایی انجام داد، بطوری که تصویر حاصله در CRT کاملاً ایستا باشد. علاوه بر این سرعت نمونه‌برداری از سیگنال ورودی توسط بلوک کنترل تعیین شده (با تنظیم سلکتور *Time/Div*) و متناسب با سرعت تغییرات سیگنال ورودی قابل انتخاب می‌باشد. بطور مثال برای یک سیگنال که دارای تغییر آهسته است، اگر نرخ نمونه‌برداری روی مقدار کمی تنظیم شود، می‌توان از تمام سیگنال نمونه گرفت. اما از آنجایی که خواندن و نمایش این اطلاعات می‌تواند با سرعت بالایی صورت گیرد. شکل کامل و ایستایی از سیگنال را روی صفحه اسیلوسکوپ خواهیم داشت. البته اسیلوسکوپ‌های دیجیتالی برای نمایش سیگنال دارای مدهای متفاوتی می‌باشند و این بستگی به این دارد که ترتیب نوشتن اطلاعات و خواندن آن از حافظه به چه نحوی صورت گیرد، که بررسی جزئیات آن از حوصله این بحث خارج است. امروزه با مجهز شدن اسیلوسکوپ‌های

دیجیتال به میکروپروسسور، امکانات زیادی همچون ضرب کانالها در یکدیگر، محاسبه تبدیل فوریه و طیف فرکانسی سیگنال و ... امکان پذیر گشته است.

۱۳-۱۲- مشخصات اسیلوسکوپ

شخصی که می خواهد نوسان‌نمایی را بخرد، نیاز دارد که مشخصات آن را کاملاً بداند. استفاده‌ای که قصد داریم از نوسان‌نما بکنیم هنگام بررسی مشخصاتی که نوسان‌نما باید داشته باشد، یکی از عوامل تصمیم‌گیری ماست. یک نوسان‌نمای خاص، چندین مصالحه ارائه می‌کند که مستقیماً مشخصات وسیله را تحت تاثیر قرار می‌دهند و بنابراین، در تحلیل نهایی، نوع اندازه‌گیری‌هایی را که باید با نوسان‌نما انجام شود تعیین می‌کنند. برای مثال، در استفاده همه منظور، مشخصات نوسان‌نما، اغلب مصالحه‌ای بین حساسیت و پهنای باند برقرار می‌کنند، در حالی که برای کارهای خاص با فرکانس بالا، می‌توان پهنای باند را در ازای کم کردن حساسیت افزایش داد. اغلب سازندگان عمده نوسان‌نما، چندین مدل از نوسان‌نماهای همه منظوره را پیشنهاد می‌کنند که در درجه اول از لحاظ پهنای باند و حساسیت متفاوت هستند. در طراحی نوسان‌نماها، نیاز به کاربری‌های خاص، موجب محدودیت‌هایی می‌شود که بسیاری از مشخصات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای مثال، وقتی قابل حمل بودن نوسان‌نما، ضروری باشد، باتری‌ها منبع عمده توان الکتریکی خواهند بود که در نتیجه، جریان و ولتاژ را محدود می‌کنند. این محدودیت‌ها، حساسیت، پاسخ فرکانسی و شدت ترسیم را تحت تاثیر قرار خواهند داد.

خواندن مشخصات، اغلب گیج‌کننده و سردرگم‌کننده است. خواننده باید دقیقاً معنای هر پارامتری را که مشخص شده است بداند، زیرا کمپانی‌ها مشخصات را متفاوت می‌نویسند. برای مثال، مشخصاتی که به صورت مقدار عددی بدون تولرانس‌ها داده می‌شوند، عموماً مقدار نوعی متوسط از یک کمیت هستند. در حالی که مشخصاتی که به شکل عددی همراه با تولرانس‌ها بیان می‌شوند، سازنده آن‌ها را تضمین کرده است. جدول (۲-۱۲) یک مجموعه مشخصات را برای یک نوسان‌نمای آزمایشگاهی همه منظوره نشان می‌دهد.

جدول (۲-۱۲) خلاصه ای از مشخصات نوسان نمای آزمایشگاهی نوعی

توضیحات	مشخصات نمونه	زیرسیستم
		۱. لامپ پرتو کاتدی
قسمت‌ها نوعاً همیشه ۱ سانتی‌متر نیستند.	۸ قسمت $10 \times$ قسمت	اندازه صفحه
با توجه به نوع نوسان به جدول ۱۸ مراجعه شود.	P31	نوع صفحه
محدوده تغییرات از حدود $1/5kV$ وابسته به اندازه صفحه و پهنای باند	$1/5kV$	ولتاژ شتاب‌دهنده
صفحه شطرنجی داخلی	داخلی، روشن (نورانی)	صفحه شطرنجی
	کانونی کننده، شدت، باریکه باب	کنترل‌های پانل جلویی
		۲. تقویت‌کننده عمودی
		دو تقویت‌کننده مشابه،
		کانال‌های A و B
سیگنال‌های تقویت شده توسط کانال A به		(الف) مدهای عملکرد
نهایی به نمایش در می‌آیند.		فقط کانال A
سیگنال تقویت شده توسط کانال B تنها، عادی		فقط کانال $\pm B$
با وارونه (\pm)		
		A و B به تناوب
هر دو سیگنال روی جاروهای متناوب به		فقط A-B
نمایش در می‌آیند. B عادی یا وارونه		
یک سیگنال مساوی سیگنال A منهای سیگنال		A-B و B به تناوب
B به نمایش در می‌آید.		
دو سیگنال به تناوب به نمایش		(ب) پهنای باند
در می‌آیند: A-B و $\pm B$		تقویت‌کننده‌ها
ورودی مستقیماً به تقویت‌کننده‌ها وصل	DC : تا $5MHz$	زمان صعود
می‌شوند.		
سیگنال‌های با زمان صعود سریع تر از $vnsec$	$vnsec$	فراجهش
به‌طور نامناسب به نمایش در می‌آیند.		ضریب انحراف
گستره انحراف: 10000 می‌تواند به نمایش درآید.	کم‌تر از 2% حساسیت بیشینه	
	$10mV/div$ تا $1mV/div$	
صحت انحراف نمایش	در 14 گام کالیبره شده حساسیت	
یک کنترل بهره کالیبره نشده با حساسیت	تولرانس $\pm 3\%$	
بیشینه حدود $1:25000$ زیاد می‌شود.	$1:2/5$ کالیبره نشده	
محدود شده توسط کانکتور ورودی BNC،	(پیک) $\pm 400Vdc$ یا $+ac$	ولتاژ ورودی بیشینه
خازن تزویج ac و مؤلفه‌های دیگر		امپدانس ورودی
تأخیری برای بیش‌تر نوسان‌ها استاندارد است.	$1M\Omega \parallel 20pF$	(ج) کالیبره کردن
		ولتاژ کالیبره کردن
معمولاً یک مسوج سریعی کالیبره شده	$600mV \pm 1\%$	فرکانس
می‌تواند به‌عنوان یک استاندارد فرکانس	$1kHz \pm 1\%$	
تقریبی عمل کند.		جریان کالیبره کردن
برای کالیبره کردن پروب‌های (گمانه‌های)	$6mA$ ، تولرانس $\pm 2\%$	
جریان به کار می‌رود		
		۳. تقویت‌کننده‌های افقی
		گستره فرکانس
	$1MHz$ تا dc	ضریب انحراف
برای ورودی EXT X وقتی در مد X-Y	$2mV/div$	
به کار می‌رود.		ولتاژ ورودی بیشینه
محدود شده توسط کانکتور ورودی و	(پیک) $\pm 400V dc$ یا $+ac$	
خازن‌های تزویج		امپدانس ورودی
تا حدودی استاندارد است.	$1M\Omega \parallel 20pF$	پهنای زمانی
		سرعت‌های جارو
	$50nsec/div$ تا $1sec/div$	
	در 23 گام کالیبره شده	
	کالیبره نشده بین گام‌ها با سرعت	کنترل زمان متغیر
	جارو کردن بیشینه $1/25sec/div$	
سرعت جارو کردن بیشینه را 10 برابر زیاد می‌کند	$\times 10$	بزرگنمایی

ادامه جدول (۲-۱۲)

توضیحات	مشخصات نمونه	زیرسیستم
		۵. راه اندازی
کانال A یا B	داخلی یا خط خارجی	منابع
مولد جاروب، به طور خودکار توسط هر سیگنالی که در گستره ولتاژ و فرکانس مشخصی قرار گیرد، راه اندازی می شود.	خودکار	مد
مولد جارو، توسط هر سیگنالی که اندازه و فرکانس آن در گستره توانایی های ابزار قرار گیرد، بدون توجه به زمان اعمال آن، فعال می شود.	راه اندازی شده	
مولد جارو یک بار روی اولین سیگنالی که بعد از برجایی ^۱ کنترل ها ایجاد می شود، جارو خواهد کرد.	تک شلیک	
کنترل ها را می توان به گونه ای میزان کرد که راه اندازی روی شیب مثبت یا منفی آغاز شود.	+ یا -	شیب
	انحراف ۰/div	حساسیت
	از جریان مستقیم تا ۲۵MHz	داخلی
	۵۰mV در ۱۰MHz	خارجی
	۱۵۰mV در ۲۵MHz	
		جنبه هایی از کل سیستم
		نیازمندی های توان
	۹۰ تا ۱۳۲V ac	گستره ولتاژ خط
	۱۸۰ تا ۲۵۰V ac	
	۴۶ تا ۶۰Hz	فرکانس خط
	۲۱۵W، ۳/۳A، ۶۰Hz در ۹۰Vac	مصرف توان بیشینه
		داده های مکانیکی
شامل پایه و دسته	۱۵۰mm	ارتفاع
شامل دسته	۳۲۰mm	عرض
شامل پوشش جلویی	۳۴۰mm	طول
	۴/۸kg	وزن
		دما
	۲۳°C	مرجع
	+۴۰°C تا +۵°C	گستره عملکرد اسمی
	+۷۰°C تا -۴۰°C	گستره انبار کردن و حمل و نقل

۱۴-۱۲-کاربردها

گستره کاربری نوسان‌نماها از اندازه‌گیری ولتاژهای مقدماتی و مشاهده شکل موج‌ها تا کاربردهای خاص در همه زمینه‌های علوم، مهندسی و فناوری تغییر می‌کند. در اینجا چند کاربرد را شرح می‌دهیم.

۱-۱۴-۱۲-اندازه‌گیری ولتاژ

بی‌واسطه‌ترین اندازه‌گیری ولتاژ توسط نوسان‌نما، مقدار پیک تا پیک است. اگر لازم باشد، مقدار rms ولتاژ به راحتی از مقدار پیک تا پیک، قابل محاسبه است. برای رسیدن به یک مقدار ولتاژ در نمایش روی CRT باید مقدار ضریب سلکتور تضعیف‌کننده عمودی، که بر حسب $volt/div$ بیان می‌شود و انحراف پیک تا پیک را مشاهده کرد. بنابراین مقدار پیک تا پیک ولتاژ را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_{p-p} = (\text{volt / div.}) \times \text{ضریب} \times \text{تعداد خانه های عمودی از قله مثبت تا قله منفی} \quad (1-19)$$

۲-۱۴-۱۲-اندازه‌گیری های دوره تناوب و فرکانس

دوره تناوب و فرکانس سیگنال‌های متناوب به سادگی با یک نوسان‌نما اندازه‌گیری می‌شود. شکل موج باید به گونه‌ای به نمایش درآید که یک سیکل کامل آن روی صفحه CRT ظاهر شود. هر چه تک سیکل به نمایش درآمده، بیش تر فاصله افقی صفحه نمایش را پر کند، معمولاً صحت اندازه‌گیری دقیق تر می‌شود. دوره تناوب به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$T = (\text{time / div.}) \times \text{ضریب} \times \text{تعداد خانه های افقی اشغال شده توسط یک سیکل} \quad (12-20)$$

فرکانس نیز با معکوس کردن دوره تناوب قابل محاسبه است.

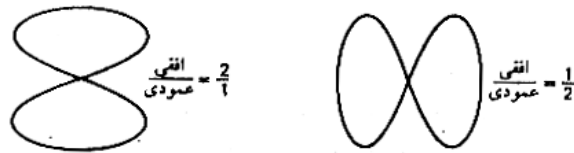
۳-۱۴-۱۲-تعیین فرکانس با الگوهای لیسازو (Lissajous Patterns)

نوسان‌نما را می‌توان در مد $X-Y$ برای تعیین فرکانس یک سیگنال به کار گرفت. فرکانس را می‌توان با اعمال یک سیگنال با فرکانس نامعلوم به پایانه ورودی X یا Y و یک سیگنال با فرکانس معلوم به پایانه ورودی دیگر تعیین کرد. الگویی که روی صفحه مشاهده می‌شود، یک شکل لیسازو نامیده می‌شود. الگوی لیسازوی خاصی که مشاهده می‌شود، بستگی به نسبت دو فرکانس دارد. این روش، محدودیت‌هایی دارد و از آنجا که

شمارنده‌های فرکانس دیجیتال ارزان قیمت به بازار آمده‌اند، از این روش به صورت بسیار گسترده استفاده نمی‌شود. یک محدودیت، این است که نسبت دو فرکانس باید با نسبت دو عدد صحیح بیان شود در غیر اینصورت الگوی ثابتی روی صفحه ظاهر نخواهد شد. محدودیت دیگر این است که ۱۰:۱ تقریباً حداکثر نسبت فرکانسی است که می‌توان به کار برد. در نسبت‌های بالاتر، الگوی لیسازو آن قدر پیچیده می‌شود که تعیین فرکانس نامعلوم، بسیار مشکل خواهد شد. می‌توان نشان داد که نسبت دو فرکانس عبارت است از:

$$(f_y / f_x) = (\text{تعداد نقاط تماس عمودی} / \text{تعداد نقاط تماس افقی}) \quad (12-21)$$

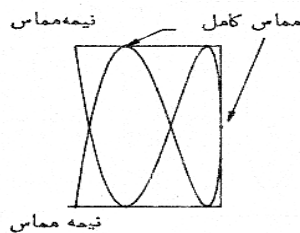
نسبت ۲:۱، طبق شکل (۱۲-۲۵)، یک الگوی به شکل عدد ۸ ایجاد می‌کند. اگر سیگنالی که فرکانس دو برابر دارد به پایانه ورودی افقی اعمال شود، شکل عدد ۸ عمودی خواهد بود، و اگر فرکانس سیگنال ورودی عمودی، دو برابر سیگنال ورودی افقی باشد، شکل عدد ۸ خوابیده خواهد بود.



شکل (۱۲-۲۵) الگوهای لیسازو برای نسبت فرکانسی ۲ به ۱

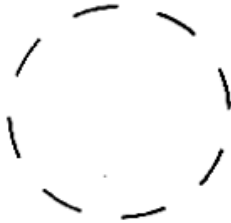
برای بدست آوردن نسبت فرکانس هنگامی که الگوهای لیسازو باز می‌باشند، می‌توان نقاط باز را نیمه مماس محسوب کرد. شکل (۱۲-۲۶) یک نمونه از این حالت را نشان می‌دهد که نسبت فرکانسی برابر است با:

$$(f_y / f_x) = (\text{تعداد تماس های عمودی} / \text{تعداد تماس های افقی}) = \frac{2 + \frac{1}{2}}{1} = \frac{5}{2}$$



شکل (۱۲-۲۶) الگوی لیسازو باز

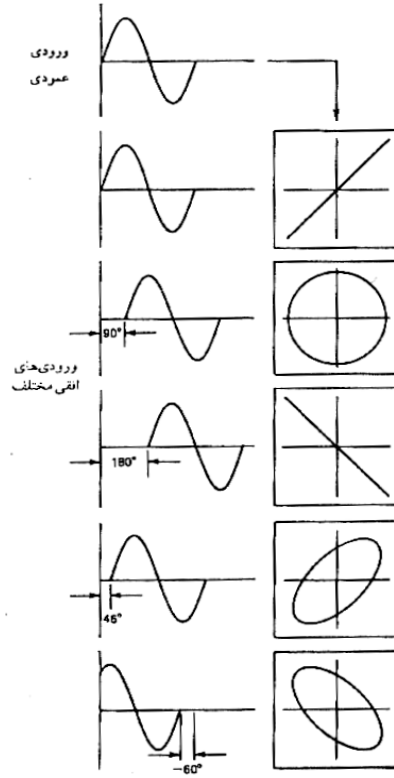
نسبت‌هایی که مساوی با یک عدد صحیح نیستند. مثل نسبت ۵ به ۳، الگوهای بسیار پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند. الگویی که در شکل (۱۲-۲۷) آمده است، یک شکل لیسازو با نسبت ۳ به ۲ با فرکانس عمودی بالاتر است. هرگاه نسبت‌های فرکانس، بزرگ‌تر از ۱۰ به ۱ باشند، الگوی لیسازو پیچیده‌تر از آن است که قابل استفاده باشد. به جای این فن، اگر نوسان‌نما یک ورودی محور z داشته باشد، شکل لیسازوی حلقه‌ای که در شکل (۱۲-۲۸) آمده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت فرکانس‌ها با شمردن تعداد خط چین‌ها در حلقه به دست می‌آید. الگوی حلقه‌ای در این شکل نشان می‌دهد که فرکانس نامعلوم اعمال شده به ورودی محور z ، هشت برابر سیگنال اعمال شده به ورودی‌های افقی و عمودی برای تولید دایره است



شکل (۱۲-۲۷) الگوی لیسازو برای نسبت فرکانسی ۳ به ۲ شکل (۱۲-۲۸) الگوی لیسازو حلقه‌ای برای نسبت فرکانسی ۸ به ۱

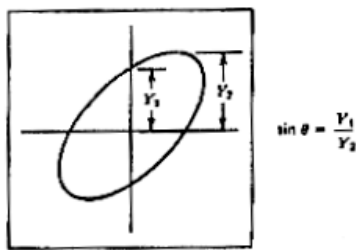
۴-۱۲-۱۴- محاسبه زاویه فاز

نوسان‌نماها را هم چنین می‌توان در مد $X-Y$ برای تعیین زاویه فاز بین سیگنال‌های هم فرکانس به کار برد. الگوی به نمایش درآمده روی صفحه CRT ممکن است از یک خط مستقیم با یک شیب مثبت، وقتی سیگنال‌ها هم فاز هستند، تا یک خط مستقیم با یک شیب منفی، وقتی سیگنال‌ها دارای اختلاف فاز 180° درجه هستند، تغییر کند (طبق شکل (۱۲-۲۹)).



شکل (۱۲-۲۹) الگوهای لیسازو برای زوایای فاز مختلف

اگر زاویه فاز، هر زاویه‌ای بین 0° و 360° درجه باشد، طبق شکل (۱۲-۳۰)، یک دایره یا یک بیضی به نمایش درمی‌آید.



شکل (۱۲-۳۰) ارزیابی رابطه فاز

زاویه فاز را به راحتی می‌توان از روی بیضی تعیین کرد. نسبت عرض از مبدا روی محور Y که در شکل با Y_1 نشان داده شده، و انحراف عمودی بیشینه Y_2 ، مساوی است یا سینوس زاویه فاز یعنی:

$$\sin \theta = \frac{Y_1}{Y_2} \quad (12-22)$$

θ = زاویه فاز بر حسب درجه

Y_1 = عرض از مبدا روی محور

Y_2 = انحراف عمودی پیشینه