سیگنال های CLOCK در مدار های دیجیتالی و بررسی آن

تاریخ انتشار۲۹ بهمن, ۱۴۰۱ توسط سید حسین سلطانی

سلام و درود خدمت همراهان همیشگی مایکروالکام. در مطالب قبلی بررسی قطعات الکترونیکی به معرفی و استفاده از دیود TVS پرداخته شد. در این مطلب به معرفی منابع کلاک (Clock) در مدار های دیجتال نظیر کریستال اسیلاتور، رزوناتور و بررسی آنها پرداخته خواهد شد. پس با من تا انتهای مطلب همراه باشید. همچنین شما میتونید سایر مطالب من رو از این قسمت دنبال کنید.

سیگنال Clock

قطعات مربوط به تولید کلاک (Clock) در مدارات دیجیتال از قطعات مهم و اساسی می‌باشند. البته باید گفت منابع کلاک در مدارات دیجیتال متفاوت خواهند بود. اینگونه می‌توان بیان کرد که سیگنال های زمانی یا همان Clock Signal مدل مهمی از سیگنال ها هستند که دارای سطح High و Low می‌باشند.

این سیگنال ها مشابه یک مترونوم عمل کرده و مدار دیجیتالی مطابق با آن به کار خود پرداخته تا وظیفه خود را انجام دهد. به تعبیری دیگر مدار های دیجتالی متکی بر سیگنال های زمان یا کلاک پالس می‌باشند تا بدرستی کار کنند.

نحوه ایجاد سیگنال های کلاک (Clock)

روش های مختلفی برای ایجاد سیگنال Clock وجود دارد. مدار تشدید کننده کریستالی (Crystal Resonator) را عموما با نام کریستال نیز می‌شناسند. عملکرد این قطعه اینگونه است که با یک مدار تقویت کننده ترکیب شده تا ولتاژی را روی الکترود نزدیک یا روی کریستال اعمال نمایند.

کریستال های کوارتز نوع کوچک از شکاف کوارتز بوده که هر سطح آن بصورت فلز و رسنا درآمده و با اتصال الکتریکی به آن متصل شده است. فرآیند برش کریستال کوارتز و شکل فیزیکی آن خیلی مهم بوده و باید با دقت انجام شود. چرا که باعث مشخص کردن فرکانس نوسانات آن خواهد شد.

هنگامی که کریستال کوارتز برش داده شد و شکل خود را گرفت، از آن دیگر نمی‌توان جهت تولید فرکانس دیگری استفاده کرد. زیرا با برش آن یک فرکانس خاصی را جهت نوسانات از خود ایجاد خواهد کرد. از کریستال های کوارتز بدلیل مقاومت بیشتر تغییرات فرکانس در مقابل دما بیشتر استفاده می‌کنند. اگر بجای این از مدار RC استفاده کنیم بدون شک تغییرات دما برروی فرکانس ایجادی تاثیر خواهد گذاشت.

مولد کلاک (Clock Generator)

مولد کلاک (Clock Generator) از ترکیب یک اسیلاتور یا نوسانگر با یک یا چند مدار PLL، تقسیم کننده های خروجی و بافر خروجی ها تشکیل شده است. مولد های Clock و بافر های کلاک هنگامی که چندین فرکانس نیاز است و تراشه

های مورد نظر روی یک برد قرار گرفته یا در یک FPGA هستند مفید می‌باشد.

در برخی از کاربرد ها، FPGA/ASIC دارای چندین دامنه زمانی برای دیتا ها، کنترل حافظه و رابط ها هستند. در نتیجه مستلزم استفاده از چندین منابع فرکانسی و مشخص می‌باشند. در اکثر کاربرد ها اسیلاتور بصورت خارجی استفاده می‌شود. انواع مختلفی از مولد های کلاک وجود دارد که هر کدام دارای کاربرد خود و هزینه های مختلفی است.

نوسان ساز یا اسیلاتور کریستالی (Crystal Oscillator)

کریستال ها دارای خروجی سینوسی بوده و عموما اگر IC مورد نظر دارای نوسان ساز داخلی و PLL (حلقه قفل بسته) داخلی روی تراشه برای تایمینگ داخلی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که کریستال و مدار نوسان ساز با هم در یک پکیج ترکیب شوند، عموما به آن کریستال اسیلاتور گفته می‌شود.

این نوسان ساز پیزو الکترویک کوارتز، یک سیگنال دارای نوسان قابل استفاده که معمولا یک موج مربعی با دیوتی سایکل 50% می‌باشد را تولید می‌کند. معمولا این سیگنال کلاک در یک فرکانس ثابت می‌شود.

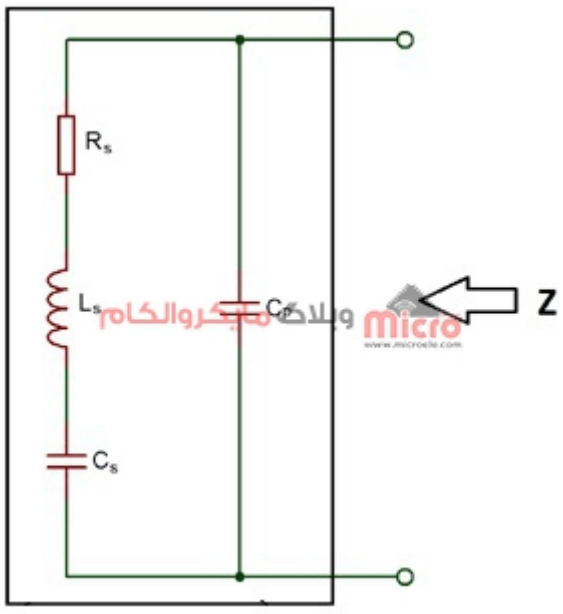
کریستالی از کوارتز طبیعی

مدار معادل

اسیلاتور یا نوسان ساز یک مداری است که بوسیله یک مدار تنظیم شده باعث ایجاد یک فرکانس خاص می‌شود. بصورت مشابه، کریستال اسیلاتور یا نوسان ساز کریستالی یک مدار الکترونیکی یا قطعه ای است که جهت ایجاد یک فرکانس ثابت و پایدار بجای استفاده از مدار تنظیم شده استفاده می‌گردد.

هنگام ارتعاش کریستال، مشابه یک رزوناتور (تشدید کننده) عمل کرده و در نتیجه یک فرکانس نوسانی را ایجاد می‌نماید. مدار رزوناتور یا تشدید کننده از یک کریستال جهت تولید نوسان استفاده می‌کند که از همین جهت موجب

نامگذاری کریستال اسیلاتور می‌شود. در تصویر زیر مدار معادل آن ذکر شده است.



مدار معادل کریستال اسیلاتور

طرح های همزمان(Synchronous) و آزاد(Free-running)

سیستم ها و ترکیبات آن ها از زیر مجموعه های مختلفی تشکیل شده که ممکن است نیاز به سیگنال های تایمینگ آزاد یا همزمان داشته باشند. اگر یک سیستم بصورت Free-running باشد، سیگنال کلاک را می‌توان بصورت مستقل بدون نیاز به قفل فاز یا همگام سازی خاصی استفاده کرد. مثلا می‌توان پردازنده ها، کنترل کننده های حافظه، چیپ های SoC را از این قبیل موارد دانست.

میکروکنترلر ها برای عملکرد خود عموما از نوسان ساز کریستالی استفاده می‌کنند. به غیر از زمانی که در مدار های ناهمزمان مانند CPU های ناهمزمان استفاده می‌شوند. اکثر میکروکنترلر ها دارای مدار RC داخلی برای ایجاد کلاک می‌باشند. اما برای برخی کاربرد های خاص و حصول نتیجه دقیق مانند USB و Ethernet و سایر موارد به نوسان ساز های کریستالی خارجی نیاز پیدا خواهند کرد.

در مقابل، سیستم ها با زمان بندی همزمان (سنکرون) نیاز به ارتباط مداوم و همگام سازی در سطح شبکه در تمام

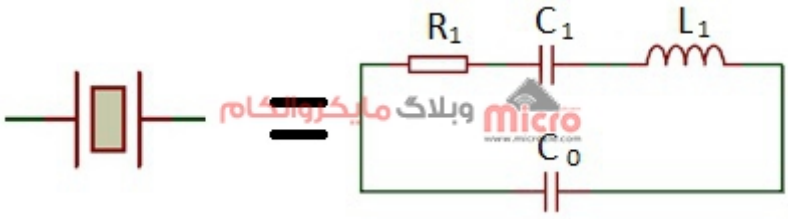
سیستم های مربوطه دارند. در کاربرد های نظیر این، کلاک های مبتنی بر PLL با پهنای باند کم، فیلتر جیتر را برای اطمینان از حفظ همگام سازی در سطح شبکه فراهم می‌کنند. به عنوان مثال برخی از نمونه های کابرد همزمان را می‌توان شبکه های انتقال نوری، Ethernet سنکرون و انتقال ویدیو HD SDI را نام برد.

با این وجود کاربرد های مختلفی وجود دارد که علی رغم ارتباط به سیگنال های زمان بندی یا فرکانس دقیق نیاز دارند. برخی از کاربرد ها به همگام سازی طولانی بین دو زیر سیستم که به یکدیگر متصل نیستند نیاز دارند. دقت یا به تعبیری دیگر تلورانس در عملکرد نوسان ساز امری حیاتی و مهم می‌باشد.

تصور کنید شما دارای یک سیستم می‌باشید که برای صرفه جویی مصرف باتری، هر چند ساعت یک بار باید فعال شود و دیتا هایی را ارسال نماید. یک نوسانگر استاندارد 20ppm فقط به اندازه کسری از ثانیه در ساعت دارای تلورانس یا خاموشی است. اما یک نوسانگر 1% RC، می‌تواند نیم دقیقه خاموش شود. حال اگر از یک رزوناتور RC در این مثال استفاده شود، مدت زمان فعالیت این سیستم طولانی تر بوده و در نتیجه تلفات توان نیز بیشتر خواهد بود.

تشدید کننده سرامیکی

مشابه کریستال اسیلاتور، رزوناتور سرامیکی نیز یک مدار یا قطعه الکترونیکی است که جهت ایجاد یک فرکانس نوسانی به کمک سرامیک به عنوان یک تشدید کننده پیزوالکتریک استفاده می‌شود. این مورد می‌تواند دارای دو یا چند الکترود باشد که با اتصال به مدار نوسان ساز دچار ارتعاشات مکانیکی شده و در نتیجه منجر به ایجاد یک سیگنال نوسانی با فرکانسی خاص خواهد شد. مدار معادل این قطعه مشابه کریستال اسیلاتور بوده و در زیر آمده است.



مدار معادل نوسان ساز سرامیکی

به هنگام عملکرد تشدید کننده یا رزوناتور سرامیکی، ارتعاشات مکانیکی بدلیل خاصیت پیزوالکتریک یا سرامیک، یک ولتاژ نوسانی ایجاد می‌کند و نهایتا این نوسان به عنوان خروجی به الکترود ها متصل می‌شود.

نوسان ساز داخلی و خارجی

از نوسان ساز های داخلی عموما برای فراهم کردن سیستم تایمینگ میکروکنترلر ها که نیاز به دقت زیاد ندارند استفاده می‌شود. از اسیلاتور های داخلی می‌توان برای ارتباط UART با باودریت کم بخوبی استفاده کرد. نوسان ساز ها و کریستال های خارجی برای ارتباطات پروتکل های نظیر USB، CAN یا Ethernet که نیاز به دقت بالا در کلاک دارند استفاده می‌شود.

استفاده از نوسان ساز های خارجی این اجازه را می‌دهد که طیف وسیعی از فرکانس ها را در مقابل نوسان ساز های داخلی (در این مدل فقط چند پیش تقسیم کننده یا prescaler داریم) داشته باشیم. در ادامه به بررسی نوسان ساز داخلی و خارجی پرداخته شده است.

مقایسه نوسان ساز داخلی و خارجی

- **دقت:**

  کلاک ایجاد شده توسط نوسان ساز داخلی دارای دقت بالایی نیست و تحت تاثیر عواملی مانند نویز قرار خواهد گرفت.

- **وابستگی دما:**

  اسیلاتور ها (نوسان ساز) و کلاک ها (علی الخصوص نوسان ساز های جبران کننده دما) را می‌توان در کاربرد هایی که در دمای پایین یا بالا هستند مورد استفاده قرار داد. اینگونه فرکانس نوسانات در مقابل تغییرات دما تقریبا ثابت خواهند ماند.

- **سرعت:**

  با نوسان ساز های داخلی ممکن است به حداکثر سرعت IC نرسیم که در این موارد نوسان ساز خارجی مورد نیاز خواهد بود.

- **ولتاژ:**

  سرعت عملکرد نوسان ساز داخلی ممکن است وابسته به ولتاژ اعمالی آن باشد. اگر یک نوسان ساز تجهیزاتی

را راه اندازی کند که ممکن است از خود نویز RF ساطع کند، افزودن ولتاژ متغیر به ورودی کنترل آن می‌تواند گستره تداخلات را پراکنده کند و آن را به حالت ایده آل نزدیک تر کند. در این مثال نوسان ساز خارجی کنترل شده با ولتاژ می‌تواند این قابلیت را فراهم نماید.

- **نیاز به چند کلاک:**

اگر چندین زیر سیستم نیاز به عملکرد بصورت همزمان و متصل به یکدیگر را داشته باشند، می‌توان از منبع مولد کلاک خارجی برای جایگزینی با تایمنیگ Free-running هر زیرسیستم استفاده کرد.

بررسی

در جدول زیر می‌توان بطور خلاصه تفاوت های بین نحوه ایجاد سیگنال های تایمینگ را مشاهده نمود.

عنوان	کریستال	XO	مولد کلاک	بافر کلاک	Jitter Attenuator
عملکرد Free-run	No	Yes	Yes	Yes	Yes
عملکرد همزمان	No	No	Yes	Yes	Yes
ضرب کلاک	No	No	Yes	No	Yes
تقسیم کلاک	No	No	Yes	Yes	Yes
پاکسازی جیتر	No	No	No	No	Yes
پیچیدگی طراحی	Low	Low	Medium	Low	Medium
ادغام	Low	Low	High	High	High

XO = Crystal Oscillator

مقایسه نوسان ساز کریستالی و رزوناتور سرامیکی

باید گفت هر دو این مدل عملکرد مشابهی دارند و منجر به ساخت نوسان در خروجی خود خواهند شد. اما با این وجود برخی تفاوت ها در خواص آنها وجود دارد که به همین دلایل اسیلاتور (نوسان ساز) جایگزین رزوناتور سرامیکی می‌شود.

- **محدوده فرکانس:**

کریستال اسیلاتور دارای ضریب Q خیلی بیشتری نسبت به رزوناتور سرامیکی است. محدوده فرکانس کریستال اسیلاتور بین 10KHz–100MHz بوده در صورتیکه رزوناتور سرامیکی بین 190KHz–50MHz است.

- **خروجی:**

نوسان ایجاد شده توسط کریستال خیلی با ثبات تر از رزوناتور سرامیکی است. علاوه بر این دقت فرکانس کریستال خیلی بیشتر از رزوناتور سرامیکی می‌باشد. دقت در اسیلاتور بین 10ppm–1000ppm بوده و در رزوناتور بین 1%–0.1% می‌باشد.

- **خطا و حساسیت:**

کریستال اسیلاتور تحمل کمتری نسبت به ضربه و لرزش در مقابل رزوناتور سرامیکی دارد. کریستال اسیلاتور ها تحمل کمتری مقابل ESD دارند درحالی که رزوناتور سرامیکی تمل ESD بالایی دارند. اسیلاتور ها نسبت به تشدید کننده ها دارای حساسیت بیشتری اند. حساسیت را می‌توان از نظر تابش مقایسه کرد. کوارتز دارای تلورانس فرکانسی 0.001% و در مقابل دارای 0.5% است.

- **وابستگی خازن:**

رزوناتور ها ممکن است خازن های داخلی داشته یا نیاز به خازن خارجی داشته باشند. اما کریستال نیازمند خازن خارجی بوده و مقدار آن بستگی به کریستال مورد کاربرد دارد.

- **تاثیر پارامتر ها:**

برای رزوناتور های سرامیکی، ضخامت سرامیک تعیین کننده فرکانس تشدید خروجی است درحالی که برای کریستال اسیلاتور فرکانس تشدید خروجی بستگی به سایز، شکل، خاصیت ارتجاعی و سرعت صوت در ماده مورد کاربرد دارد. کریستال اسیلاتور وابستگی خیلی کمی نسبت به دما داشته و در مقابل تغییرات دما بسیار پایدار تر است. رزوناتور سرامیکی نسبت به کریستال کمی بیشتر این وابستگی را دارد.

- **موارد مورد کاربرد:**

کریستال اسیلاتور از کوارتز بعنوان ماده تشدید کننده پیزو الکتریک تشکیل شده در حالی که رزوناتور سرامیکی از PZT یا Lead Zirconium Titante تشکیل شده است. ساخت کریستال اسیلاتور از رزوناتور سرامیکی سخت تر است.

- **کاربرد:**

رزوناتور سرامیکی مناسب برای ارتباط سریال کم سرعت و کریستال اسیلاتور برای ارتباط سریال پر سرعت می‌باشد. در کاربرد های Real Time رزوناتور سرامیکی مناسب نبوده ولی اسیلاتور بسیار کارا خواهد بود.

نتیجه گیری

در این مطلب به بررسی منابع پر کاربرد تولید کلاک و سیگنال های زمانی برای مدار های دیجیتالی پرداخته شد. همچنین به بررسی و مقایسه دو قطعه پر کاربرد یعنی کریستال اسیلاتور و رزوناتور سرامیکی و مورد کاربرد آنها نیز پرداخته شد.

امیدوارم از این مطلب کمال بهره را برده باشید. در صورت داشتن هرگونه نظر یا سوال درباره این مطلب یا تجربه مشابه اون رو در انتهای همین صفحه در قسمت دیدگاه ها قرار بدید. در کوتاه ترین زمان ممکن به اون ها پاسخ خواهم داد. اگر این مطلب براتون مفید بود، اون رو به اشتراک بگذارید تا سایر دوستان هم بتوانند استفاده کنند. همینطور میتونید این مطلب را توی اینستاگرام با هشتگ #microelecom به اشتراک بگذارید و پیج مایکروالکام (@microelecom) رو هم منشن کنید.