



سیگنال های CLOCK در مدار های دیجیتال و بررسی آن



تاریخ انتشار ۲۹ بهمن، ۱۴۰۱ توسط سید حسین سلطانی

سلام و درود خدمت همراهان همیشگی میکروالکام. 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 دیجیتال 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 سیگنال‌های زمانی یا همان Clock Signal مدل مهمی از سیگنال‌ها هستند که دارای سطح High و Low می‌باشند.

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

نحوه ایجاد سیگنال‌های کلاک (Clock)

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

کریستال‌های 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 کریستال‌های کوارتز بدلیل مقاومت بیشتر تغییرات فرکانس در مقابل دما بیشتر استفاده می‌کنند. اگر بجای این از مدار RC استفاده کنیم بدون شک تغییرات دما بر روی فرکانس ایجاد می‌تواند تاثیر خواهد گذاشت.

مولد کلاک (Clock Generator)

مولد کلاک (Clock Generator) از ترکیب یک اسپلاتور یا نوسانگر با یک یا چند مدار PLL، تقسیم کننده‌های خروجی و بافر خروجی‌ها تشکیل شده است. مولد‌های Clock و بافر‌های کلاک هنگامی که چندین فرکانس نیاز است و تراشه



های مورد نظر روی یک برد قرار گرفته یا در یک FPGA هستند مفید می باشد.
در برخی از کاربردها، 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 می باشند. در اکثر کاربردها اسیلاتور بصورت خارجی استفاده می شود. 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 عموماً اگر IC مورد نظر دارای نوسان ساز داخلی و PLL (حلقه قفل بسته) داخلی روی تراشه برای تایمینگ داخلی باشد مورد استفاده قرار می گیرد. هنگامی که کریستال و مدار نوسان ساز با هم در یک پکیج ترکیب شوند، عموماً به آن کریستال اسیلاتور گفته می شود.

این نوسان ساز پیزو الکترویک کوارتز، یک سیگنال دارای نوسان قابل استفاده که معمولاً یک موج مربعی با دیوتی سایکل 50% می باشد را تولید می کند. معمولاً این سیگنال کلاک در یک فرکانس ثابت می شود.



کریستالی از کوارتز طبیعی

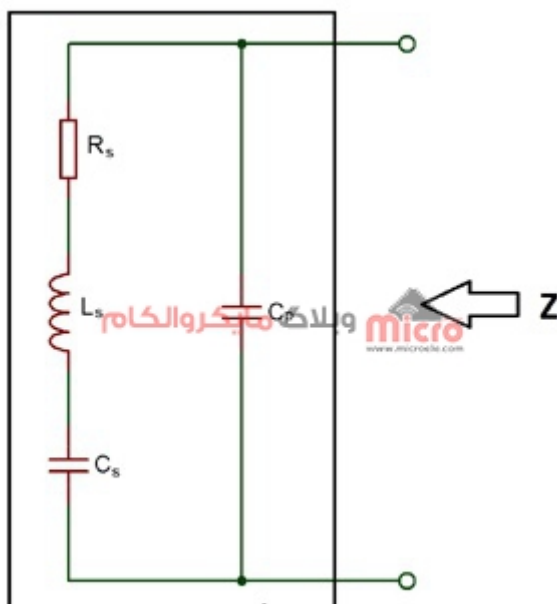
مدار معادل

اسیلاتور یا نوسان ساز یک مداری است که بوسیله یک مدار تنظیم شده باعث ایجاد یک فرکانس خاص می شود. 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 می گردد.

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



نامگذاری کریستال اسیلاتور می شود. 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 می توان بصورت مستقل بدون نیاز به قفل فاز یا همگام سازی خاصی استفاده کرد. مثلا می توان 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 می کنند. به غیر از زمانی که در مدار های ناهمزمان مانند CPU های ناهمزمان استفاده می شوند. اکثر میکروکنترلر ها دارای مدار RC داخلی برای ایجاد کلاک می باشند. اما برای برخی کاربردهای 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



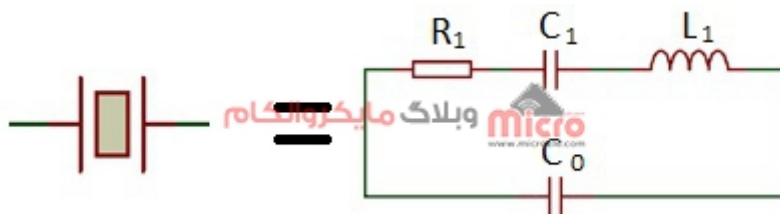
سیستم های مربوطه دارند. در کاربرد های نظیر این، کلاک های مبتنی بر PLL با پهنای باند کم، فیلتر جیتر را برای اطمینان از حفظ همگام سازی در سطح شبکه فراهم می کنند. به عنوان مثال برخی از نمونه های کاربرد همزمان را می توان شبکه های انتقال نوری، Ethernet سنکرون و انتقال ویدیو HD SDI را نام برد.

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 می باشد.

تصور کنید شما دارای یک سیستم می باشید 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، می تواند 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 اسپلاتور، 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 می شود. این مورد می تواند دارای دو یا چند الکتروود 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 اسپلاتور 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 می کند و نهایتاً این نوسان به عنوان خروجی به الکتروود ها متصل می شود.



نوسان ساز داخلی و خارجی

از نوسان ساز های داخلی عموماً برای فراهم کردن سیستم تایمینگ میکروکنترلر ها که نیاز به دقت زیاد ندارند استفاده می شود. از اسپلاتور های داخلی می توان 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 می شود.

استفاده از نوسان ساز های خارجی این اجازه را می دهد 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:

اسپلاتور ها (نوسان ساز) و کلاک ها (علی الخصوص نوسان ساز های جبران کننده دما) را می توان در کاربرد هایی که در دمای پایین یا بالا هستند مورد استفاده قرار داد. اینگونه فرکانس نوسانات در مقابل تغییرات دما تقریباً 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



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 تایمینگ Free-running هر زیرسیستم استفاده کرد.

بررسی

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

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

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 می باشد. دقت در اسیلاتور بین 10ppm-1000ppm بوده و در رزوناتور بین 1%-0.1% می باشد.

• 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 تحمل ESD بالایی دارند. اسیلاتور ها نسبت به تشدید کننده ها دارای حساسیت بیشتری اند. حساسیت را می توان 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 پارامترها:

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 Titanate 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 می باشد. 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.