

طراحی و ساخت سیتی سائزر 1.7GHz_1.9GHz با فواصل 100KHz

مرتضی قمشی بزرگ

m_ghomeshi@noavar.com

دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

مجتبی قمشی بزرگ

mgh12000@yahoo.com

دانشکده علمی _ کاربردی مخابرات

محمد علی چقاسرخ

m_choghasorkhi@yahoo.com

دانشکده علمی _ کاربردی مخابرات

چکیده:

هدف از این مقاله طراحی و ساخت سیتی سائزر فرکانس در محدوده فرکانسی ۱,۷GHz - ۱,۹ GHz می باشد. که توانایی تولید ۲۰۰۰ کاربرفرکانس با فاصله های ۱۰۰KHz را دارا می باشد. همچنین قدرت خروجی بزرگتر از ۳dbm و قدرت سیگنالهای مولفه مزاحم (Spurs) -55dbm می باشد. سیتی سائزر فرکانس کاربرد وسیعی در سیستمهای مخابراتی دارد. بطور کلی این دستگاه در کاربردهایی استفاده می شود که نیاز به تولید فرکانس با دقت بالا باشد و نیز عوامل محیطی بر آن تاثیر نداشته باشد. از جمله موارد کاربرد آن در سیستمهای مخابرات سلولی (موبایل)، مولدهای سیگنال پالوت و... می باشد. باتوجه به فرکانس بالای کار دستگاه رعایت مواردی از جمله تطبیق امپدانس ها، میزان تضعیف خطوط انتقال، مسئله شیلد کردن دستگاه و صاف بودن ولتاژ تغذیه ها در کیفیت کار دستگاه اهمیت فراوانی دارد.

واژگان کلیدی: Dual Modulus, lmx2320 vco, pll, مایکرواستریت

۱- مقدمه:

سیتی سائزر فرکانس وسیلهای است برای تولید فرکانس یا فرکانسهایی که دقیقاً مضربی از یک فرکانس مبنا باشند. هدف از این پروژه، طراحی و ساخت یک سیتی سائزر فرکانس در محدوده فرکانس ۱۷۰۰ MHz تا ۱۹۰۰ MHz می باشد. بطوری که سیتی سائزر در این محدوده فرکانسی، توانایی تولید ۲۰۰۰ کاربر فرکانس با فاصله ۱۰۰ KHz را داشته باشد.

تکنیکی که در این پروژه استفاده شده است، حلقه قفل ساز (PLL) می باشد و مدار محلی نیز بر همین اساس ساخته شده است. برای کنترل این دستگاه از یک میکرو کنترلر استفاده شده است که باعث سادگی و انعطاف پذیری بیشتر سیستم گردیده است.

مقاله حاضر شامل سه فصل می باشد:

فصل اول: اصطلاحات و اصول حاکم بر حلقه های قفل فاز (PLL) Vco، فیلتر حلقه و مدارات جانبی شرح داده شده است.
فصل دوم: شامل مدارات کنترلی پروژه از جمله میکرو کنترلر و نحوه عملکرد آن می باشد.
فصل سوم: طراحی اجزاء سیتی سائزر و نحوه عملکرد کلی سیستم بیان شده است.

۲- فصل اول: حلقه قفل فاز (PLL)

۲-۱- مقدمه:

حلقه های قفل فاز (PLL) یکی از مهمترین اجزای سیستمهای مخابراتی می باشند. بخصوص از زمانی که PLL به صورت IC به بازار عرضه شده کار بردهای متنوعی پیدا کرده است، فیلتر های دنبال کننده آشکار ساز FSK، آشکار ساز FM استریو، و مدولاتور FM، سیتی سائزر فرکانس، ضرب کننده و تقسیم کننده های فرکانس کاربردهای PLL را بیشتر نمایان

میکنند. PLL به خاطر داشتن خصوصیات زیر در کاربردهای ذکر شده مورد استفاده قرار می گیرد:

1. PLL می تواند هارمونیک های هم فاز با یک موج مرجع کریستالی ایجاد می کند. به نحوی که پایداری آن با پایداری موج مرجع یکسان باشد.
2. PLL می تواند بصورت یک فیلتر با پهنای باند بسیار کم بکار رفته، سیگنالهایی که فرکانسشان به علت اثر دوپلر تغییر می کند را دنبال کند.

۲-۲- حلقه های قفل ساز (PLL)

PLL مداری است که اجازه می دهد که فرکانس و فاز نوسان ساز حلقه توسط یک سیگنال مرجع خارجی کنترل شود. فرکانس نوسان ساز حلقه توسط یک سیگنال مرجع یا مضربی از آن باشد. اگر سیگنال مرجع از یک نوسان ساز کریستالی گرفته شود. می توان فرکانسهای دیگری با پایداری فرکانسی نوسان ساز کریستال بدست آورد. اصول PLL در سال ۱۹۲۳ مشخص بود ولی تا اواخر دهه ۱۹۶۰ هنگامی که یک PLL کامل یا اجزای آن به صورت آی سی در دسترس قرار گرفت، استفاده چندانی نداشت. در این قسمت اصول اساسی کار واصطلاحات مورد استفاده در توصیف PLL ها مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۳- توصیف عملکرد PLL

اگر حلقه قفل باشد، فرکانس سیگنال ورودی و نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) یکسان خواهد بود و اختلاف فاز نسبی آنها به مشخصه آشکار ساز وانحراف f_s از فرکانس آزاد f_r یعنی f_r که فرکانس v_{co} به ازای $v_d = 0$ بستگی خواهد داشت. اگر فرکانس سیگنال ورودی با f_r برابر باشد ولتاژ کنترل VCO بوده، خروجی آشکار ساز فاز صفر خواهد بود.

θ_0 ولتاژ v_d خود را به نحوی تغییر می دهد که تفاضل فاز $\theta_d = \theta_s = \theta_0$ حاصل می شود، به ازای این اختلاف فاز خروجی آشکار ساز فاز صفر می شود، θ_d بسته به نوع مدار آشکار ساز فاز ۹۰ یا ۱۸۰ درجه است. اگر فرکانس ورودی تغییر کند، به نحوی که $f_s \neq f_r$ شود، اختلاف فاز θ_d به گونه ای تغییر میکند که ولتاژ کنترل v_d لازم برای $f_0 = f_s$ فراهم آید. گستره فرکانسی که بر روی آن چنین کنترلی ممکن است به اجزای مدار بستگی دارد.

۲-۴- فیلتر حلقه

فیلتر پایین گذر در حلقه قفل فاز دو وظیفه اصلی را بر عهده دارد. نخست آنکه هر دو این مولفه های فرکانسی بالای فرکانس خروجی آشکار ساز فاز را حذف می کند و بنا بر این یک ولتاژ متوسط (V_{dc}) می دهد دوم اینکه کارایی دینامیکی حلقه را تعیین می کند که شامل فاکتورهای مثل محدوده تسخیر قفل فرکانس، پهنای باند سیستم و پاسخ گذاری مدار می باشد.

برای بهبود طیف خروجی وحذف مولفه های مزاحم (Spur) از یک طبقه فیلتر پایین گذر RC دیگر نیز می توان به عنوان Extra Filter شناخته می شود. با وجود این فیلتر حلقه، چون سیستم از مرحله بالاتر از دوم خواهد شد در نحوه طراحی برای ایجاد پایداری از نمودارهای بور کمک خواهیم گرفت.

۲-۵- اسپلاتور کنترل شده با ولتاژ (VCO)

VCO، مداری است که فرکانس خروجی آن متناسب با ولتاژ ورودی آن است یا به عبارت ریاضی می توان نوشت:

$$f_0 = U_{vco} V_i \quad (1)$$

f_0 فرکانس خروجی VCO بر حسب هرتز (Hz)

V_i ولتاژ کنترل ورودی VCO بر حسب ولت (V)

U_{vco} بهره VCO بر حسب Hz/V

بهره تبدیل VCO (U_{vco}) نسبت ثابتی است که ولتاژ کنترلی را به فرکانس تبدیل می کند. لازم به ذکر است که در عمل این بهره مقدار ثابتی نیست.

برای ساخت VCO مدارهای نوسان ساز مختلفی ممکن است بکاربرد که در انتخاب یک مدار برای یک کاربرد خاص عوامل زیر دخیلند:

- ۱- فرکانس کار
- ۲- پایداری فرکانس
- ۳- دامنه خروجی
- ۴- پایداری
- ۵- خلوص شکل - موج خروجی
- ۶- احتمال بروز نوسانهای ناخواسته

در این پروژه آی سی POS-2000 A بعنوان VCO استفاده شده است. که نحوه کار و توضیحات بیشتر آن در فصل سوم خواهد آمد.

۳- فصل دوم: واحد کنترل

۳-۱- مقدمه:

در فصل قبل بصورت مقدماتی PLL را بررسی کردیم با توجه به اینکه PLL مورد استفاده در این پروژه LMX 2320 می باشد که اطلاعات لازم را باید بصورت سریال دریافت کند اهمیت این بخش مشخص می شود. در بخش کنترل دستگاه اطلاعات از صفحه کلید وارد شده و سپس توسط میکرو کنترلر به صورت فریمهای استاندارد LMX 2320 در آمده و بصورت سریال ارسال می شود. برای نمایش مقدار عددی فرکانس خروجی از پنج عدد نمایشگر هفت قسمتی استفاده شده است. نمایشگرها بوسیله یک عدد بافر و چهار ترانزیستور راه اندازی می شوند که ارسال اطلاعات باز توسط میکرو کنترلر انجام می شود.

۳-۲- مروری بر خانواده MCS-51

MCS-51 خانواده ای از میکرو کنترلرها است که توسط شرکت اینتل به بازار عرضه شده است ۸۰۵۱ یک IC نوعی و اولین عضو این خانواده است، که بصورت تجاری مطرح شده است. در پروژه از تراشه ۸۹۵۱ استفاده شده که با آی سی ۸۰۵۱ یکسان است.

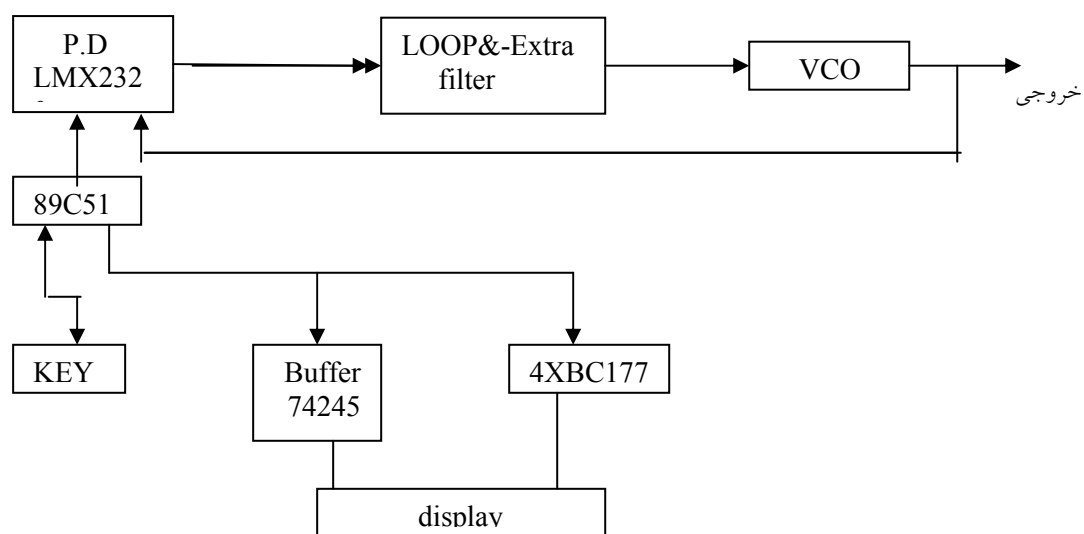
خلاصه مشخصات این آی سی به شرح زیر است ۴K بایت Rom، ۱۲۸ بایت Ram، چهار درگاه I/O (ورودی - خروجی) هشت بیتی، دو تایمر/ شمارنده شانزده بیتی، رابط سریال، ۶۴K بایت فضای حافظه خارجی برای کد، ۶۴K بایت فضای حافظه خارجی برای داده، پردازش بولی که عملیات روی بیتها را انجام می دهد، ۲۱۰ مکان بیت آدرس پذیر، انجام عملیات ضرب و تقسیم در ۴ میکرو ثانیه.

۸۰۵۱ با یک تغذیه ۵ ولتی کار می کند اتصال VCC به پایه ۴۰ و VSS (زمین) به پایه ۲۰ وصل می شود. توضیحات بیشتر درباره واحد کنترل در قسمت طراحی و ساخت خواهیم دید.

۴- فصل سوم: طراحی و ساخت

۴-۱- بلوک دیاگرام سیستم:

شکل زیر ملزومات کلی سیستمی ساینر با مشخصات ذکر شده را نشان می دهد



بلوک دیاگرام کلی سیستم

۴-۲- بخش PLL

آی سی مورد استفاده بعنوان PLL در این پروژه LMX 2320 محصول کارخانه National می باشد از جمله خصوصیات این IC می توان موارد زیر را ذکر کرد:

کار در محدوده فرکانسی تا حد ۲GHz، ولتاژ تغذیه ۲.۷۷ تا ۵.۵۷، امکان کاهش توان مصرفی (۶A-۱۰*۳۰IC در VCC=۳۰)، استفاده از تکنیک Dual Modulus Prescaler (۶،۶ یا ۱۲۸/۱۲۹) انتقال سریال دیتا به آن.

از موارد کاربرد آن می توان به موارد زیر اشاره نمود:

سیستم تلفن سلولی، مخابرات بی سیم متحرک، تلویزیون کابلی، سیستم مخابراتی بی سیم دیگر.

شرایط کار توصیه شده این PLL، ولتاژ تغذیه Vcc باید بین ۲.۷۷ تا ۵.۵۷ باشد. Vp که منبع تغذیه شارژ پمپ است باید: $V_{cc} \leq V_p \leq 5.5$ باشد.

۴-۲-۱- تولید فرکانس مرجع:

برای تولید فرکانس مرجع از مدار زیر استفاده می کنیم با توجه به اینکه Resolution فرکانس برابر ۱۰۰KHz می باشد از کریستال ۱۲MHz استفاده کرده ایم که بعد از تقسیم بر $R=120$ تقسیم کننده مرجع قابل برنامه ریزی فرکانس ۱۰۰KHz = f_r مرجع را برای ما تامین می کند.

۴-۲-۲- تکنیک Dual Modulus

با استفاده از این تکنیک فرکانس f_m متناسب با بیت های کنترلی ضمن تقسیمات لازم به فرکانس f_p تبدیل می شود. فرکانس خروجی VCO ابتدا توسط هفت بیت شمارنده A و یازده بیت شمارنده B بصورت همزمان شمارش می شود. تا زمانیکه شمارنده A شمارش می کند Dual Modulus Prescaler بر عدد ۱۲۸ تقسیم می کند. هر از شمارش کامل ۷ بیت شمارنده A و ۱۱ بیت شمارنده B یک پالس در خروجی مدار تقسیم دیجیتالی ایجاد می شود که سیگنال f_p را تشکیل می دهد.

f_r و f_p در حالت قفل فاز برابرند و با توجه به رابطه زیر با فرکانس خروجی VCO مربوطند.

$$f_r = f_p = \frac{f_{vco}}{(P \times B) + A} \quad (2)$$

به روشنی آشکار است که اگر از این روش (Dual Modulus) استفاده نشود مخرج فرمول مضربی از P می شود. یعنی تقسیمات کمتر از P (۱۲۸) را نمی توانیم ایجاد کنیم.

۴-۳- بخش VCO

در این پروژه از آی سی POS-2000 A بعنوان VCO مدار استفاده شده است. این آی سی توانایی تولید فرکانسهای بین ۱۳۷۰ MHz تا ۲۰۰۰MHz را با متوسط قدرت خروجی ۱۰db دارد لذا برای این پروژه کاملاً مناسب است.

با توجه به اینکه فرکانس خروجی سیستم ما بالا است لازم است از خطوط مایکرو استریپ جهت انتقال سیگنال استفاده شود.

۴-۳-۱- خطوط انتقال مایکرو استریپ:

مایکرو استریپ اخیراً بدلیل خواص الکتریکی، ارزانی، قابلیت تکثیر وساخت مناسب یکی از مهمترین و عمومی ترین محیط انتقال برای استفاده در فرکانسهای RF و مایکرو ویو شناخته شده است. مایکرو استریپ یک خط انتقال با امپدانس

مشخص دلخواه است که سیگنال را از یک نقطه به نقطه دیگر حمل می کند. امپدانس مشخصه بسته به نسبت $\frac{w}{h}$ عایق (Substrate) بکار رفته تعیین می شود. بدین ترتیب خروجی سیستم را بوسیله خط ۵۰ اهم مایکرو استریپ با پهنای ۲.۸۴mm تامین میکنیم (محاسبات لازم کاملاً انجام شده که از حوصله این مقاله خارج است). از طرفی باید خروجی VCO مدار PLL بدویم تا حلقه برقرار باشد و عمل قفل صورت گیرد. بدلیل بالا بودن توان خروجی VCO نسبت به حد مجاز ورودی آی سی PLL، باید قدری سیگنال فیدبک شده به PLL را تضعیف کرد. (متوسط خروجی VCO نسبت به حد مجاز ورودی PLL، ۶db+ می باشد. برای این منظور هم می توان از کوپلر مایکرو استریپ استفاده نمود که بسته به میزان تضعیف و فرکانس کار، ابعاد آن قابل محاسبه است و هم می توان از یک مقاومت SMD استفاده نمود. بدلیل عدم مرغوبیت فیبرهای موجود در بازار و نیز سادگی روش دوم، ترجیح داده شده از یک مقاومت ۱۰۰ (SMD) برای تضعیف سیگنال ورودی به

PLL استفاده شود.

همچنین لازم به ذکر است که خروجی VCO ورودی PLL باید از لحاظ DC کاملاً ایزوله باشند (با توجه به کاتالوگ آی سی PLL) لذا از یک خازن ۱۰۰pf (SMD) نیز بعد از مقاومت استفاده می کنیم.

۴-۴ - طراحی فیلتر حلقه:

ساختار یک فیلتر حلقه غیر فعال در شکل زیر نشان داده شده است. تابع تبدیل این فیلتر عبارت است از:

$$Z_{(s)} = \frac{S(x_2 c_2) + 1}{S^2(x^2 c^2 c^1) + S(c_1 + c_2)} \quad (3)$$

ثابت مدار زمانی که فرکانسهای صفر و قطب تابع تبدیل را معین می کنند بوسیله روابط زیر تعریف می شوند:

$$T_2 = R_2 C_2$$

$$T_1 = R_2 \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$$

(۴)، (۵)

در انتخاب اجزاء فیلتر حلقه باید معاوضه ای بین زمان قفل، نویز، پایداری واسپورهای مبنا صورت گیرد. پهنای باند بزرگتر، زمان قفل راسریعتر می کند اما پهنای باند زیاد می تواند باعث ایجاد اسپورهای مبنا بزرگ شود. اسپورها (مولفه های مزاحم) را می توان با کاهش پهنای باند حلقه یا اضافه نمودن طبقات فیلتر پایین گذر بیشتر، کاهش داد اما در اینصورت زمان قفل افزایش می یابد و پایداری مدار نیز کم می شود. در برخی از کاربردها جهت حذف اسپورها (مولفه های مزاحم) ممکن است یک طبقه فیلتر پایین گذر دیگر نیز لازم باشد.

۴-۴-۲ - محاسبه زمان قفل (Lock Time) با تقریب فیلتر مرتبه دوم

چنانکه می دانیم بررسی پاسخ گذاری سیستم های بالاتر از مرتبه دوم در حوزه زمان کارمشکل و پیچیده ای است و ما نیز به همین دلیل به کمک نمودار بد در حوزه فرکانس با تامین حاشیه فاز و بهره طراحی خود را انجام دادیم. اما برای محاسبه زمان استقرار ($t_{(s)}$) می توان با تقریب مناسب از تحلیل فیلتر مرتبه دوم کمک گرفت زمان قفل محاسبه شده حدود $t_{(s)} = 347$ است.

۴-۵ - طراحی بخش کنترل و پروسسور

باتوجه به اینکه در این پروژه PLL فرکانس در خواستی را باید در قالب دو فریم بصورت سریال در یافت کند اهمیت این بخش آشکار می شود.

۴-۵-۱ - سخت افزار

سخت افزار مورد استفاده در این بخش عبارتند از: میکرو کنترلر ۸۹C۵۱، چهار ترانزیستور BC۱۷۷ و آی سی ۷۴۲۴ بعنوان بافر نمایشگر بر صفحه کلید از نوع ماتریسی ۸ پایه همچنین نمایشگر هفت قسمتی استفاده شده است در اینجا از پورت صفر میکرو کنترلر برای اتصال صفحه کلید واز پورت یک برای ارسال اعداد به نمایشگر هفت قسمتی استفاده شده است همچنین تعدادی از پایه های پورت ۳ برای انتخاب نمایشگر هفت قسمتی مورد استفاده قرار گرفته است. پایه های P2.5 و P۲،۱ و P2.2 هم بترتیب برای ارسال دیتا، کلاک و فرمان بار گذاری مقادیر مورد استفاده قرار گرفته اند.

۴-۵-۲ - نرم افزار

نرم افزار این دستگاه از نظر عملکرد به چهار قسمت اساسی تقسیم می شود:

با توجه به موارد بالا A,B,R,P مقادیری هستند که در قالب دو فریم باید به PLL ارسال شوند .

در نهایت آی سی بعد از دریافت فریمها وفرکانس خروجی VCO را بر روی اعداد داده شده تنظیم می کند.

۴-۵-۴ - روش کار با دستگاه

ولتاژ ورودی دستگاه ۱۷ ولت می باشد که در داخل آن به چند قسمت تقسیم وتنظیم می شود.
ولتاژ ۵ولت برای آی سی LUX2320 ومیکرو کنترلر، ولتاژ ۸ ولت برای VCO وولتاژ ۱۷ ولت برای تقویت کننده OP-AMP
خروجی دستگاه ۵۰ اهم می باشد. از طریق صفحه کلید روی دستگاه فرکانس درخواستی وارد می شود.
قسمت نمایشگر دستگاه از پنج عدد نمایشگر هفت قسمتی تشکیل شده است که با توجه به محدوده کار ۱۲ نمایشگر سمت چپ همیشه مقدار یک درارد وچهار عدد بعدی باید از طریق صفحه کلید وارد شوند . عدد وارد شده مضرپی از فرکانس ۱۰۰KHz می باشد.
بعد از هر بار وارد کردن فرکانس برای وارد کردن فرکانس بعدی باید ابتدا با استفاده از کلید Reset میکرو کنترلر را مجدداًآماده گرفتن عدد نمود.

۴-۵-۵ - شمای کلی سیستم و نتایج اندازه گیری:

لازم به ذکر است که خروجی VCO توسط خط انتقال میکرواستریپ ۵۰ اهم به ورودی آی سی PLL (پایه fin) داده شده است.
چون سیگنالهای ورودی مقایسه کننده فاز دارای فرکانس ۱۰۰KHz می باشد . خروجی نهایی تحت تاثیر این دو سیگنال دارای اسپورهایی با فاصله ۱۰۰KHz می باشد. برای حذف این اسپورها اولاً باید فیلتر حلقه بسیار دقیق در نظر گرفته شود ثانیاً سیستم خصوصاً فیلتر ومدار VCO را باید کاملاً شیلد نمود.

۵- مراجع:

- [1] Modern Communication Circuits (Jack .Smith – MCGraw Hill – 1986)
- [2] Microwave Engineering using Microstrip circuits (E.H.Fooks – 1989)
- [3] مدارهای مخابراتی (هربرت ال .کروس ،ترجمه محمود دیانی ،انتشارات آستان قدس رضوی ،چاپ ۱۳۷۲)
- [4] میکرو کنترلر (اسکات مکنزی)
- [5] سایتهای اینترنتی:

WWW.National.Com

WWW.Minicircuits.Com

