



دانشگاه مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در مهندسی برق - الکترونیک

طراحی تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی LC فرکانس

بالا با هدف کاهش توان مصرفی

استاد راهنما: دکتر ساسان ناصح

نگارش: سمیه اسدیان

شهریور ۱۳۹۰



تعهد نامه

اینجانب **سمیه اسدیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق - الکترونیک** دانشکده **مهندسی** دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه **طراحی تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی LC فرکانس بالا با هدف کاهش توان مصرفی** تحت راهنمایی **دکتر ساسان ناصح** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به:

مادر مهربانم

پدر بزرگوارم

خواهران عزیزم

و دوستانی که محبت‌هایشان را، بیچگاه فراموش نخواهم کرد.

تقدیر و تشکر:

بر خود لازم میدانم که از زحمات استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر ناصح که بارها همایانی های ارزنده شان
مراد انجام این پروژه یاری دادند تشکر کنم.

همچنین از خانواده های عزیزم که مایه دلگرمی من بودند و دعای خیرشان، همواره بدرقه می راهم بود
سپاسگزارم.



دانشکده مهندسی

دانشگاه فردوسی مشهد

فرم چکیده پایان نامه تحصیلی دوره تحصیلات تکمیلی

دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام و نام خانوادگی دانشجو: سمیه اسدیان

استاد راهنما: دکتر ساسان ناصح

استاد یا اساتید مشاور: -

دانشکده: مهندسی	رشته: مهندسی برق	گرایش: الکترونیک
مقطع: کارشناسی ارشد		
تاریخ دفاع: ۹۰/۶/۳۱		
تعداد صفحات: ۶۵		
عنوان پایان نامه: طراحی تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی LC فرکانس بالا با هدف کاهش توان مصرفی		
کلیدواژه‌ها: تقسیم‌کننده‌ی قفل‌شده‌ی تزریقی، نسبت تقسیم ۳، تزریق تفاضلی، بازه‌ی قفل، توان مصرفی		

چکیده:

در سال‌های اخیر استفاده از تقسیم‌کننده‌های فرکانسی در سیستم‌های فرکانس بالا مانند سنتزکننده‌های فرکانسی، سیستم‌های بازیابی کلاک و سیگنال ژنراتورها، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. امروزه تقاضا برای تقسیم‌کننده‌های فرکانسی با توان مصرفی پایین، بازه‌ی عملکرد وسیع، دقت و سرعت بالا، نویزفاز کم، و قابلیت مجتمع‌سازی زیاد افزایش چشمگیری یافته است. در پاسخ به این تقاضا، تقسیم‌کننده‌های متنوعی ارائه شده است که کاراترین آنها تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی مبتنی بر نوسان‌سازهای LC (LC-ILFDها) می‌باشند. برای تزریق سیگنال در در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که شامل تزریق سری، تزریق موازی و تزریق مستقیم می‌باشند. در این پژوهش دو روش تزریق برای تزریق سیگنال تفاضلی در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳ پیشنهاد شده است. در روش تزریق پیشنهادی اول که یک روش تزریق موازی است، جریان DC ترانزیستورهای تزریق حذف شده است که این امر بدون این که تاثیر منفی‌ای بر روی بازه‌ی قفل و یا نویزفاز تقسیم‌کننده داشته باشد، منجر به کاهش قابل توجهی در توان مصرفی آن می‌گردد. با استفاده از این روش تزریق، یک ILFD دنبال‌کننده نیز طراحی شده است. در روش تزریق پیشنهادی دوم، از خازن‌هایی که متصل به گیت ترانزیستورهای سوئیچ‌شونده‌ی هسته‌ی ILFD هستند استفاده شده است. از مزایای این روش تزریق می‌توان به توان مصرفی کم و نویزفاز پایین و قابلیت کار در ولتاژهای پایین اشاره نمود. از هر دو ILFD پیشنهادی می‌توان برای تقسیم فرکانسی با نسبت تقسیم ۲ نیز استفاده کرد. مدارهای ارائه شده، با استفاده از نرم‌افزار ADS و در تکنولوژی CMOS-RF 0.18 μ m شبیه‌سازی شده‌اند.

امضاء استاد راهنما

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از تقسیم‌کننده‌های فرکانسی در سیستم‌های فرکانس بالا مانند سنتزکننده‌های فرکانسی، سیستم‌های بازیابی کلاک و سیگنال ژنراتورها، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. تقسیم‌کننده‌های فرکانسی می‌توانند از یک سیگنال متناوب ورودی، خروجی متناوبی تولید کنند که فرکانس آن کسری از فرکانس سیگنال ورودی باشد. امروزه تقاضا برای تقسیم‌کننده‌های فرکانسی با توان مصرفی پایین، بازه‌ی عملکرد وسیع، دقت و سرعت بالا، نویزفاز کم، و قابلیت مجتمع‌سازی زیاد افزایش چشمگیری یافته است. در پاسخ به این تقاضا، تقسیم‌کننده‌های متنوعی ارائه شده است که کاراترین آنها تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی مبتنی بر نوسان‌سازهای LC (LC-ILFDها) می‌باشند. دلیل این امر قابلیت کار در فرکانس‌های بالا و همچنین توان مصرفی کم این دسته از تقسیم‌کننده‌ها می‌باشد. اگر چه در مورد LC-ILFDهای با نسبت تقسیم ۲ و به دلیل طراحی آسانی که دارند تا کنون مطالعات مفصلی صورت گرفته است ولی در مقابل، LC-ILFDهای با نسبت تقسیم ۳ کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای تزریق سیگنال در در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که شامل تزریق سری، تزریق موازی و تزریق مستقیم می‌باشند. در این پژوهش دو روش تزریق برای تزریق سیگنال تفاضلی در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳ پیشنهاد شده است. در روش تزریق پیشنهادی اول که یک روش تزریق موازی است، با قرار دادن خازن‌هایی در درین ترانزیستورهای تزریق جریان DC این ترانزیستورها حذف شده است که این امر بدون این که تاثیر منفی‌ای بر روی بازه‌ی قفل و یا نویزفاز تقسیم‌کننده داشته باشد، منجر به کاهش قابل توجهی در توان مصرفی آن می‌گردد. با استفاده از این روش تزریق، یک ILFD دنبال‌کننده نیز طراحی شده است. در روش تزریق پیشنهادی دوم، برای تزریق سیگنال تفاضلی به جای ترانزیستور از خازن‌هایی که متصل به گیت ترانزیستورهای سوئیچ‌شونده‌ی هسته‌ی ILFD هستند استفاده شده است. از مزایای این روش تزریق می‌توان به توان مصرفی کم و نویزفاز پایین و قابلیت کار در ولتاژهای پایین اشاره نمود. از هر دو ILFD پیشنهادی می‌توان برای تقسیم فرکانسی با نسبت تقسیم ۲ نیز استفاده کرد. برای این منظور کافی است به جای سیگنال تزریقی تفاضلی از یک سیگنال تزریقی تک-سر استفاده نمائیم. مدارهای ارائه شده، با استفاده از نرم‌افزار ADS و در تکنولوژی CMOS-RF 0.18 μ m شبیه‌سازی شده‌اند.

فهرست

فصل ۱- مروری بر انواع تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ دسته بندی تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا ۲
- ۱-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی دیجیتال ۲
- ۱-۱-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی استاتیک (SFDs) ۲
- ۲-۱-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی دینامیک ۴
- ۲-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی آنالوگ ۶
- ۱-۲-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی رزونانسی ۶
- ۲-۲-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی قفل‌شده‌ی تزریقی ۷
- ۳-۱ ساختار پایان‌نامه ۱۱

فصل ۲- LC-ILFDهای مبتنی بر نوسان‌ساز LC

- ۱-۲ مقدمه ۱۲
- ۱-۱-۲ انواع نوسان‌سازهای مورد استفاده در ILFDها ۱۳
- ۲-۲ نوسان‌سازهای LC ۱۳
- ۱-۲-۲ پارامترهای مهم در طراحی LC-ILFDها ۱۵
- ۱-۱-۲-۲ فرکانس نوسان ۱۵
- ۲-۱-۲-۲ نویزفاز ۱۶
- ۳-۱-۲-۲ بازه‌ی قفل ۱۷
- ۴-۱-۲-۲ بازه‌ی تنظیم فرکانسی ۱۸
- ۵-۱-۲-۲ ضریب کیفیت ۱۹
- ۶-۱-۲-۲ توان مصرفی ۲۰
- ۲-۲-۲ ورکتورها ۲۰

- ۲۲..... ۱-۳-۲ ورکتور MOS در مد وارونگی (I-MODE)
- ۲۳..... ۲-۳-۲ ورکتور MOS در مد انباشتگی (A-MODE)

فصل ۳- تکنیک‌های تزریق سیگنال در LC-ILFD های با نسبت تقسیم ۳

- ۲۴..... ۱-۳ مقدمه
- ۲۴..... ۱-۱-۳ دسته‌بندی ILFD های با نسبت تقسیم ۳
- ۲۵..... ۱-۱-۱-۳ ILFD های با نسبت تقسیم ۳ مبتنی بر نوسان‌سازهای حلقوی
- ۲۵..... ۲-۱-۱-۳ ILFD های با نسبت تقسیم ۳ مبتنی بر نوسان‌سازهای LC
- ۲۶..... ۲-۳ روش‌های مختلف تزریق سیگنال در LC-ILFD های با نسبت تقسیم ۳
- ۲۶..... ۱-۲-۳ تکنیک تزریق سری
- ۲۶..... ۲-۲-۳ تکنیک تزریق موازی
- ۲۸..... ۳-۳-۳ تزریق از طریق بالک
- ۲۹..... ۴-۳-۳ تکنیک تزریق مستقیم
- ۴-۳-۳ مشابهت برخی روش‌های تزریق در LC-ILFD ها با روش‌های تزویج در نوسان‌سازهای متعامد هماهنگ اول
- ۳۰.....
- ۳۳..... ۴-۳ نتیجه‌گیری

فصل ۴- تقسیم‌کننده‌های پیشنهادی

- ۳۶..... ۱-۴ مقدمه
- ۳۷..... ۲-۴ ILFD پیشنهادی با استفاده از تزریق موازی و خازن‌های حذف‌کننده‌ی جریان DC
- ۳۷..... ۱-۲-۴ توصیف مدار
- ۳۸..... ۲-۲-۴ تحلیل نحوه‌ی انجام تقسیم فرکانسی در ILFD پیشنهادی
- ۴۰..... ۳-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی
- ۴۲..... ۱-۳-۲-۴ اثر خازن‌های حذف‌کننده‌ی جریان DC بر توان مصرفی ILFD
- ۴۲..... ۲-۳-۲-۴ اثر خازن‌های حذف‌کننده‌ی جریان DC بر بازه‌ی قفل ILFD
- ۴۳..... ۲-۳-۲-۴ اثر خازن‌های حذف‌کننده‌ی جریان DC بر نویزفاز ILFD

- ۴-۲-۴ استفاده از روش تزریق پیشنهادی در یک ILFD دنبال‌کننده ۴۵
- ۴-۲-۴-۱ نتایج شبیه‌سازی ۴۶
- ۴-۳-۴ ILFD با نسبت تقسیم ۳ با استفاده از تزریق خازنی ۴۸
- ۴-۳-۴-۱ تحلیل نحوه‌ی انجام تقسیم فرکانسی در ILFD پیشنهادی ۵۰
- ۴-۳-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی ۵۲
- ۴-۳-۴ استفاده از ILFD پیشنهادی به عنوان یک تقسیم‌کننده با نسبت تقسیم ۲ .. **Error! Bookmark not defined.**

- ۴-۴ نرم‌افزار و تکنولوژی استفاده شده برای شبیه‌سازی ۵۸

فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۵-۱ نتیجه‌گیری ۵۹
- ۵-۲ پیشنهادهایی برای ادامه‌ی این پژوهش ۶۰
- مراجع ۶۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. یک تقسیم‌کننده فرکانسی دیجیتال با نسبت تقسیم ۲. الف) شماتیک تقسیم‌کننده ب) ساختار لچ به‌کار برده شده ج) شکل موج‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۲. تقسیم‌کننده فرکانسی دینامیک: الف) شبه-nMOS دوکلاکه ب) کلاک دار کاملاً تک فاز **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۳. اساس عملکرد یک تقسیم‌کننده فرکانسی رزرناتیو با نسبت تقسیم ۲ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۴. مدار یک تقسیم‌کننده فرکانسی رزرناتیو با نسبت تقسیم ۲ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۵. اساس پدیده‌ی قفل تزریقی الف) نوسان‌ساز با نوسان آزاد ب) نوسان‌ساز قفل شده **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۶. تقسیم‌کننده فرکانسی injection locked الف) تقسیم‌کننده مبتنی بر LC با نسبت تقسیم ۲ ب) تقسیم‌کننده مبتنی بر نوسان‌ساز حلقه‌ای با نسبت تقسیم ۳ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۲. نوسان‌ساز حلقوی **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۲. مدل ساده شده‌ی یک نوسان‌ساز LC **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۳. انواع نوسان‌سازهای LC: الف) نوسان‌ساز LC ساده ب) نوسان‌ساز LC مکمل با منبع جریان PMOS ج) نوسان‌ساز LC مکمل با منبع جریان nMOS **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۴. مقایسه‌ی خروجی یک نوسان‌ساز ایده‌آل با یک نوسان‌ساز واقعی الف) حوزه‌ی فرکانس ب) حوزه‌ی زمان **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۵. عوامل مختلف تشکیل‌دهنده‌ی خازن مدار تانک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۶. تغییرات فاز مدار RLC با ضریب کیفیت **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۲. ورکتور NMOS در نواحی الف) انباشتگی ب) تهی و ج) وارونگی ۲۲
- شکل ۲-۸. منحنی مشخصه‌ی یک ورکتور NMOS با $B \equiv D \equiv S$ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۹. منحنی مشخصه‌ی یک ورکتور NMOS در مد وارونگی **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۱۰. ورکتور NMOS در مد انباشتگی **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۱۱. منحنی مشخصه‌ی یک ورکتور NMOS مد انباشتگی **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۳-۱. یک ILFD مبتنی بر اسیلاتور حلقوی [۱۹] **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۳-۲. یک ILFD با ورودی و خروجی تک‌سر [۳۵] **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۳. استفاده از تکنیک تزریق سری در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳ [۱۸] **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۴. استفاده از تکنیک تزریق موازی در یک LC-ILFD با نسبت تقسیم ۳ [۳۳] **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۵. یک ILFD با نسبت تقسیم ۳ که در آن تزریق از طریق بالک ترانزیستورهای اتصال ضربدری صورت گرفته است [۳۱]. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۶. تکنیک تزریق مستقیم در یک ILFD با نسبت تقسیم ۲: الف) مدار ILFD ب) دیاگرام زمانی سیگنال تزریقی و سیگنال‌های تفاضلی خروجی [۵۵]. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۷. استفاده از تکنیک تزریق مستقیم در یک ILFD با نسبت تقسیم ۳ [۲۹] **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱. یک نوسان‌ساز متعامد LC بر پایه‌ی هماهنگ اول [۵۶] ب) بلوک دیاگرام کلی یک نوسان‌ساز متعامد. ۳۲ شکل ۳-۲. الف) استفاده از روش تزویج موازی در یک نوسان‌ساز متعامد هماهنگ اول [۵۶] ب) استفاده از روش

تزریق موازی در یک ILFD با ورودی تفاضلی و نسبت تقسیم ۳ [۳۳]..... ۳۳

شکل ۳-۳. استفاده از روش تزویج از طریق بالک در یک نوسان‌ساز متعامد هماهنگ اول [۵۷] ب) استفاده از روش

تزریق از طریق بالک در یک ILFD با ورودی تفاضلی و نسبت تقسیم ۳ [۳۱]..... ۳۳

شکل ۳-۴. استفاده از روش تزویج سری در یک نوسان‌ساز متعامد هماهنگ اول [۵۸] ب) استفاده از روش تزریق

سری در یک ILFD با ورودی تفاضلی و نسبت تقسیم ۳ [۱۸]..... ۳۴

شکل ۴-۱. شماتیک مدار ILFD پیشنهادی با نسبت تقسیم ۳..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲. منحنی تغییرات فرکانس نوسان بر حسب ولتاژ کنترل برای ILFD شکل ۴-۱ **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۳. شکل موج شبیه‌سازی شده‌ی خروجی‌های مدار پیشنهادی شکل ۴-۱ در $V_{DD}=1.2V$ و

Error! Bookmark not defined... $V_{tune}=0.6V$

شکل ۴-۴. ILFD شکل ۴-۱ بدون خازن‌های حذف‌کننده‌ی جریان DC..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۵. حساسیت ورودی برای الف) ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱ و ب) ILFD شکل ۴-۴. $V_{DD}=1/5V$,

Error! Bookmark not defined. $V_{bias}=0.6V$ ، از راست به چپ، $V_{tune}=0 \sim 1/5V$ ، با پله‌های $0.1V$

شکل ۴-۶. نویزفاز سیگنال تزریقی و خروجی ILFD برای الف) ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱ و ب) ILFD

شکل ۴-۴..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۷. شماتیک مدار ILFD دنبال‌کننده به همراه نوسان‌ساز پایه. جریان DC ترانزیستورهای تزریق توسط

خازن‌های C_{inj1-4} حذف شده است. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۸. شکل موج شبیه‌سازی شده‌ی خروجی‌های مدار پیشنهادی شکل ۴-۷ در $V_{DD}=1.2V$ و $V_{tune}=0.6V$.

Error! Bookmark not defined.

شکل ۴-۹. تغییرات فرکانس نوسان‌ساز پایه و ILFD مدار شکل ۴-۷ بر حسب ولتاژ کنترل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۰. منحنی نویزفاز نوسان‌ساز پایه و ILFD دنبال‌کننده‌ی شکل ۴-۷ در حالت برقراری قفل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۱. نوسان‌ساز متعامد پیشنهادی زارع [۶۲]. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۲. ILFD پیشنهادی با نسبت تقسیم ۳ با استفاده از تزریق خازنی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۳. شکل موج سیگنال تزریقی تفاضلی با فرکانس f_0 و خروجی‌های ILFD با فرکانس $3f_0$. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۴. حساسیت ورودی برای ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱۲ با نسبت تقسیم ۳. $V_{DD}=1/2V$ ، $V_{bias}=0V$ ، از

راست به چپ، $V_{tune}=0 \sim 1/2V$ ، با پله‌های $0/1V$. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۵. منحنی نویزفاز ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱۲ با نسبت تقسیم ۳. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۶. ILFD با نسبت تقسیم ۳: الف) با استفاده از روش تزریق از طریق بالک ب) با استفاده از روش تزریق موازی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۷. حساسیت ورودی برای: الف) ILFD شکل ۴-۱۶-الف و ب) ILFD شکل ۴-۱۶-ب. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۸. منحنی نویزفاز برای: الف) ILFD شکل ۴-۱۶-الف و ب) ILFD شکل ۴-۱۶-ب. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۹. شماتیک ILFD پیشنهادی با استفاده از تزریق خازنی و با نسبت تقسیم ۲. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۰. شکل موج سیگنال تزریقی تک-سر با فرکانس f_0 و خروجی‌های ILFD با فرکانس $2f_0$. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۱. حساسیت ورودی برای ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱۹ با نسبت تقسیم ۲. $V_{DD}=1/2V$ ، $V_{bias}=0V$ ، از

راست به چپ، $V_{tune}=0 \sim 1/2V$ ، با پله‌های $0/1V$. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۲. منحنی نویزفاز ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱۹ با نسبت تقسیم ۲. **Error! Bookmark not defined.**

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱. مقایسه‌ی ویژگی‌های تقسیم‌کننده‌های فرکانسی مختلف **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۱-۴. اندازه‌ی المان‌های به کار برده شده برای شبیه‌سازی مدار شکل ۴-۱ **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۲-۴. نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱ و ILFD شکل ۴-۴ **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۳-۴. اندازه‌ی المان‌های به کار برده شده برای شبیه‌سازی مدار شکل ۴-۷ **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۴. نتایج شبیه‌سازی برای ILFD دنبال‌کننده‌ی شکل ۴-۷ **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۴. اندازه‌ی المان‌های به کار برده شده برای شبیه‌سازی مدار شکل ۴-۱۲ **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۶-۴. پارامترهای مهم ILFD پیشنهادی شکل ۴-۱۲ و ILFD های شکل ۴-۱۶ ... **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۷-۴. مقایسه‌ی ILFD های پیشنهادی با چند نمونه از ILFD های گزارش شده در سال‌های اخیر **Error! Bookmark not defined.**

فصل ۱

مروری بر انواع تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از تقسیم‌کننده‌های فرکانسی در سیستم‌های فرکانس بالا مانند سنتزکننده‌های فرکانسی، سیستم‌های بازیابی کلاک و سیگنال ژنراتورها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تقسیم‌کننده‌های فرکانسی از یک سیگنال ورودی متناوب یک سیگنال خروجی متناوب تولید می‌کنند که فرکانس آن کسری از فرکانس سیگنال ورودی است. یک تقسیم‌کننده فرکانسی را می‌توان توسط ادوات فعال، مانند ترانزیستورهای دوقطبی پیوندی^۱ (BJTs) و ترانزیستورهای اثر میدانی^۲ (FETs)، و یا توسط ادوات غیرفعال، مانند دیودها و ورکتورها، پیاده‌سازی کرد. عبارت نسبت تقسیم^۳ به صورت نسبت فرکانس ورودی (ω_{in}) به فرکانس خروجی (ω_o) تعریف می‌شود که $\omega_{in} > \omega_o$ می‌باشد. نسبت تقسیم $R = \omega_{in}/\omega_o$ می‌تواند یک عدد صحیح یا کسری باشد.

برخی ملزومات یک تقسیم‌کننده فرکانسی عبارتند از:

- فرکانس کاری بالا
- بازه‌ی عملکرد وسیع
- نسبت تقسیم بالا
- نسبت تقسیم متغیر یا قابل کنترل
- نویز کم

¹ Bipolar junction transistors

² Field effect transistors

³ Division factor

- مصرف توان کم
- هزینه‌ی پیاده‌سازی کم

در این فصل انواع تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا معرفی شده و با ذکر نمونه‌هایی، مزایا و معایب آنها بیان می‌شود.

۲-۱ دسته بندی تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا

بطورکلی، تقسیم‌کننده‌های فرکانس بالا را می‌توان در دو گروه دیجیتال و آنالوگ دسته بندی نمود. تقسیم‌کننده‌های دیجیتال خود به دو گروه تقسیم‌کننده‌های استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شوند و تقسیم‌کننده‌های آنالوگ نیز شامل دو زیرگروه تقسیم‌کننده‌های رزوناتیو^۱ (RFDها) و تقسیم‌کننده‌های قفل‌شده‌ی تزریقی^۲ (ILFDها) هستند. در ادامه به بررسی مختصر اصول عملکرد تقسیم‌کننده‌های فوق می‌پردازیم.

۱-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی دیجیتال

۱-۱-۲-۱ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی استاتیک^۳ (SFDs)

SFDها یکی از پرکاربردترین انواع تقسیم‌کننده‌ها می‌باشند [۷-۱]. اساس این تقسیم‌کننده‌ها عموماً یک فلیپ-فلاپ حساس به لبه است که در یک حلقه‌ی فیدبک منفی قرار گرفته است و به همین خاطر تقسیم‌کننده‌های فلیپ-فلاپ نیز نامیده می‌شوند. فلیپ-فلاپ از دو لچ پایه و پیرو^۴ حساس به سطح تشکیل شده است که با کلاک‌هایی با فاز متقابل درایو می‌شوند. عمل تقسیم با اتصال خروجی‌های معکوس لچ پیرو به ورودی‌های لچ پایه انجام می‌پذیرد. سطح خروجی فلیپ-فلاپ بطور پیوسته و پس از هر سیکل کلاک تغییر می‌کند و سبب می‌شود که سیگنال خروجی با نصف نرخ کلاک ورودی بین صفر و یک تغییر کند و بنابراین تقسیم فرکانسی حاصل می‌شود. این تقسیم‌کننده‌ها مانند یک نوسان‌ساز حلقوی دو طبقه عمل کرده و قابلیت تولید خروجی‌های متعامد با درجه‌ی تطبیق بالا را دارند. در عمل هر یک از انواع لچ را می‌توان در SFDها بکار برد. با این وجود استفاده از لچ‌های CMOS معمول، که دارای زمان‌های خیزش و افت طولانی هستند، منجر به پایین آمدن ماکزیمم فرکانس کاری تقسیم‌کننده می‌شود. علاوه بر این به دلیل ساختار تک-سر این لچ‌ها، کوپلینگ نویز تغذیه منجر به تولید جیتیر در خروجی می‌گردد. یک جایگزین مناسب برای این لچ‌ها استفاده از

¹ Regenerative frequency dividers

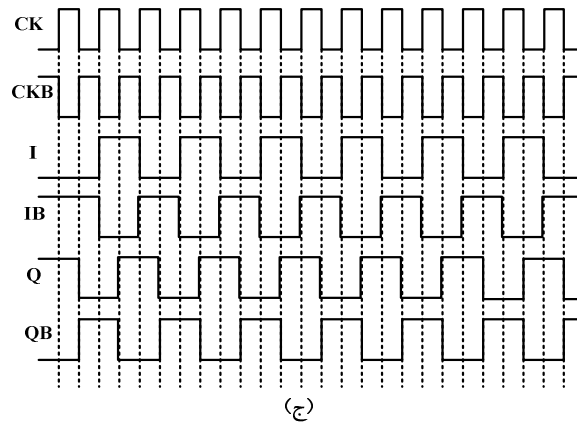
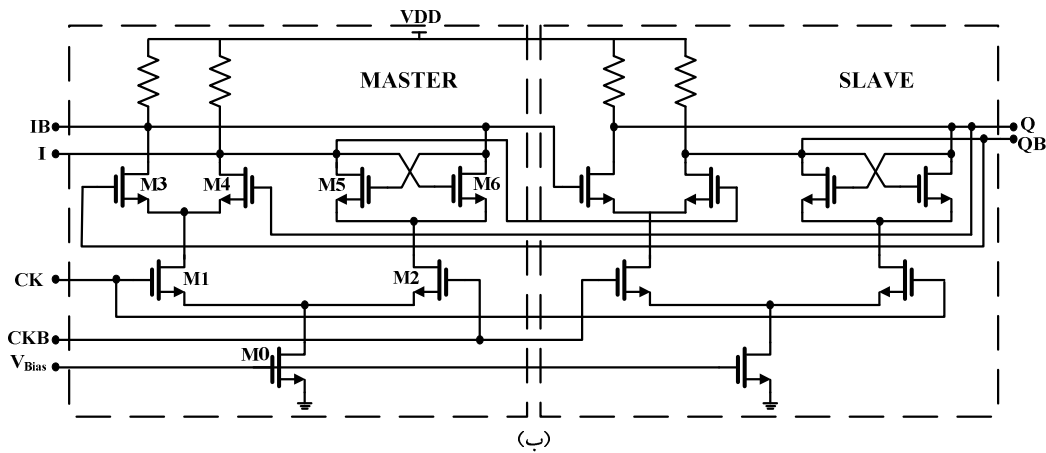
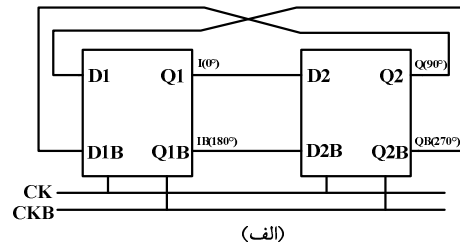
² Injection locked frequency dividers

³ Static frequency dividers

⁴ Master-slave

MCML (MOS current mode logic) است که گاهی SCL (source-coupled logic) نیز نامیده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم این لچ‌ها سوئیچینگ ولتاژ کوچک است که منجر به کوچکتر شدن زمانهای خیزش و افت و افزایش فرکانس کاری تقسیم‌کننده می‌گردد. علاوه بر این، ساختار تفاضلی MCML موجب کاهش نویز سوئیچینگ و نویز تغذیه می‌شود.

شکل ۱-۱ یک تقسیم‌کننده فرکانسی استاتیک با خروجی‌های متعامد را نشان می‌دهد [۲]. در این مدار که از یک فلیپ-فلاپ پایه-پیرو current-mode-logic تشکیل شده است، خروجی‌های لچ پیرو بطور معکوس به



شکل ۱-۱. یک تقسیم‌کننده فرکانسی دیجیتال با نسبت تقسیم ۲. الف) شماتیک تقسیم‌کننده ب) ساختار لچ به‌کار برده شده ج)

شکل موج‌ها

ورودی‌های لچ پایه متصل شده‌اند. مدار لچ پایه-پیرو نشان داده شده در شکل ۱-۱-۱ شامل یک طبقه‌ی ارزیابی^۱ (M1,M3,M4) و یک طبقه‌ی نگهداری^۲ (M2,M5,M6) است. منابع جریان توسط سیگنال‌های کلاک CK و CKB کنترل می‌شوند. در صورتی که CK در وضعیت بالا و CKB در وضعیت پایین باشند، طبقه‌ی پایه فعال است و در خروجی‌های I و IB لچ اول (L1) تقویت‌شده‌ی سیگنال‌های ورودی را خواهیم داشت. از آنجایی که در این مدار خروجی‌های لچ اول ورودی‌های آن را دنبال می‌کنند، آن را مد دنبال‌کنندگی می‌نامند. برای لچ دوم (L2) عکس این وضعیت را داریم و از آنجایی که ترانزیستورهای ورودی آن خاموش هستند، فارغ از این که خروجی‌های L1 چه باشند، خروجی‌های آن در مقادیر قبلی خود باقی می‌مانند. به همین دلیل، این مدار مد نگهداری می‌نامند. حال چنانچه CK در وضعیت پایین و CKB در وضعیت بالا قرار بگیرند، لچ L1 در مد نگهداری و لچ L2 در مد دنبال‌کنندگی قرار خواهند گرفت. در نتیجه، خروجی‌های فلیپ-فلاپ تنها در لبه‌های بالارونده‌ی سیگنال CK (لبه‌های پایین‌رونده‌ی سیگنال CKB) تغییر می‌کنند. شکل ۱-۱-۱-ج توالی زمانی خروجی‌های مدار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز مشخص است، مدار یک عمل تقسیم بر دو را انجام می‌دهد. سیگنال‌های خروجی I, IB, Q و QB به اندازه‌ی نصف سیکل کلاک ورودی، و یا یک چهارم سیکل کلاک خروجی، با هم اختلاف فاز دارند. بنابراین در خروجی سیگنال‌های متعامد با فازهای ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه داریم. مزیت اصلی تقسیم‌کننده‌های فرکانسی استاتیک، بازه‌ی عملکرد وسیع آنهاست. عیب اصلی این تقسیم‌کننده‌ها آن است که ماکزیمم فرکانس کاری آنها نسبتاً محدود و معمولاً در حد چند گیگاهرتز است. علاوه بر این، به دلیل مصرف توان استاتیکی‌ای که دارند، توان مصرفی آنها بالاست که این توان مصرفی متناسب با فرکانس بوده و با افزایش فرکانس کاری افزایش می‌یابد. با این وجود، در تکنولوژی CMOS تقسیم‌کننده‌های فرکانسی استاتیک تا فرکانس حدود ۴۰GHz [۶] و نیز تقسیم‌کننده‌های استاتیک با مصرف توان پایین [۲, ۵] نیز گزارش شده‌اند.

۲-۱-۲-۱-۲ تقسیم‌کننده‌های فرکانسی دینامیک

گروه دیگر تقسیم‌کننده‌های دیجیتال، تقسیم‌کننده‌های دینامیک هستند. یک وجه تمایز این دسته از تقسیم‌کننده‌ها با تقسیم‌کننده‌های دیجیتال استاتیک، نوع لچ به کار برده شده در فلیپ-فلاپ است. همچنین، مصرف جریان تنها در یک بخش از سیکل کلاک وجود دارد [۸-۱۰]. دو نوع از تقسیم‌کننده‌های دینامیک در شکل ۲-۱ نشان داده شده‌اند. در تقسیم‌کننده‌ی دینامیک شکل ۲-۱-الف، وقتی که سیگنال کلاک بالاست، لچ اول

¹ Evaluate stage

² Latch stage