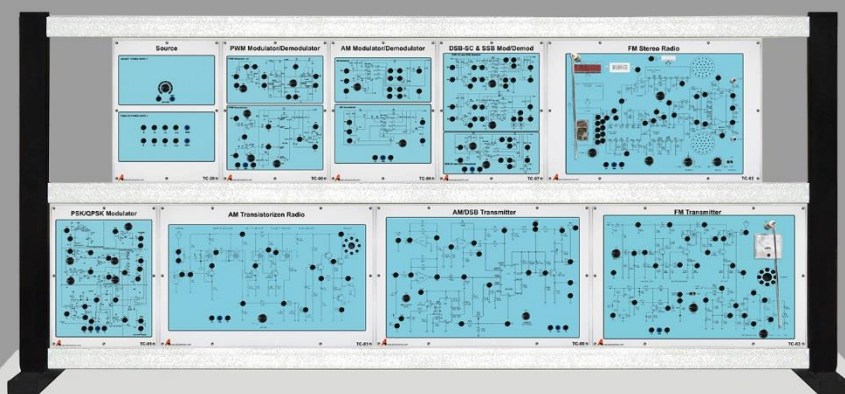


شرکت دانش بنیان

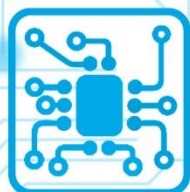
تجهیزات ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه



دستور کار جامع مخابرات آنالوگ

دستور کار ویژه دانشجو



آزمایشگاه های الکترونیک قدرت و ماشین الکتریکی

Power Electronics and Electrical Machines Labs



آزمایشگاه های سیستم های قدرت و انرژی های نو

Power Systems and Renewable Energies Lab



آزمایشگاه ماشین های الکتریکی

آموزنده ماشین های القایی (اسنکرون) (MC-100)	آموزنده ترانسفورماتور (MC-101)
آموزنده ماشین های الکتریکی DC (MC-102)	آموزنده ماشین های سنکرون (MC-103)
آموزنده درایو ماشین های القایی (اسنکرون) (MC-104)	آموزنده ماشین های الکتریکی پیشرفته (MC-105)
آموزنده ماشین های الکتریکی AC (MC-106)	آموزنده ماشین های مخصوص (MC-107)
آموزنده ماشین های الکتریکی با قابلیت پایش و کنترل نرم افزار (MC-110)	آموزنده مدار گسترده DC (MC-111)
آموزنده مدار گسترده AC (MC-112)	ماژول مایکترونیک و کنترل ماشین های الکتریکی (MC-61)

آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

آموزنده الکترونیک صنعتی تکمیلی (IE-101)	آموزنده الکترونیک صنعتی پیشرفته (IE-102)
آموزنده الکترونیک صنعتی کنترل پیشرفته موتور (IE-103)	آموزنده الکترونیک صنعتی یکسو سازها و برشگرها (IE-104)
آموزنده الکترونیک صنعتی مبدل های DC به DC (IE-105)	آموزنده الکترونیک صنعتی اینورتر و کنترل V/F (IE-106)
آموزنده الکترونیک صنعتی سیکلو کانورتر (IE-107)	آموزنده الکترونیک صنعتی با قابلیت پایش و کنترل نرم افزار (IE-110)
ماژول مایکترونیک و کنترل مبدل های توان (IE-67)	

آزمایشگاه بررسی سیستم های قدرت

شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت ۱ (PSA-100)	شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پایه (PSA-101)
شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت تکمیلی (PSA-102)	شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پیشرفته (PSA-103)
شبیه ساز جامع بررسی سیستم های قدرت (PSA-104)	شبیه ساز تحلیل سیستم های انرژی (PSA-105)
آموزنده رله و حفاظت و شبیه ساز بست برق (RP-103)	آموزنده رله و حفاظت و سیستم قدرت (RP-104)
آموزنده رله و حفاظت و بست برق و سیستم های قدرت (RP-105)	ماژول مایکترونیک و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)

آزمایشگاه حفاظت و رله

آموزنده رله و حفاظت پایه (RP-100)
آموزنده رله و حفاظت تکمیلی (RP-101)
آموزنده رله و حفاظت پیشرفته (RP-102)
آموزنده رله و حفاظت و شبیه ساز بست برق (RP-103)
آموزنده رله و حفاظت و سیستم قدرت (RP-104)
آموزنده رله و حفاظت و بست برق و سیستم قدرت (RP-105)
آموزنده رله و حفاظت بست برق رله اضافه جریان (RP-106)
آموزنده رله و حفاظت بست برق رله میفراسیل (RP-107)
آموزنده رله و حفاظت بست برق رله دیستاس (RP-108)
ماژول مایکترونیک و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)

آزمایشگاه الکترونیک قدرت

آموزنده الکترونیک قدرت (IE-108)

آزمایشگاه انرژی های نو

آموزنده تولید برق خورشیدی (فتوولتایک) (RE-100)	شبیه ساز تولید برق بادی (RE-101)	شبیه ساز تولید برق بادی و خورشیدی (RE-103)
آموزنده تولید برق بادی سوختی (RE-104)	آموزنده تولید برق هایبرید (پاد-خورشیدی-بیل سوختی) (RE-105)	ماژول مایکترونیک و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)

آزمایشگاه حفاظت و رله

آموزنده رله و حفاظت بست برق رله میفراسیل (RP-107)
آموزنده رله و حفاظت بست برق رله دیستاس (RP-108)

آموزنده ریز موج و آنتن (TC-104)

آزمایشگاه ریز موج و آنتن

آموزنده پردازش سیگنال های دیجیتال DSP (DL-107)

آزمایشگاه پردازش سیگنال های دیجیتال

آموزنده مدارهای الکتریکی و اندازه گیری

آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری

آزمایشگاه سیستم های دیجیتال

آموزنده میکرو کنترلر ARM (DL-104)	آموزنده میکرو کنترلر PIC (DL-105)	آموزنده سیستم های دیجیتال ۲ (DL-106)
آموزنده مدار منطقی (DL-101)	آموزنده دیجیتال ۱ (DL-102)	آموزنده میکرو کنترلر AVR (DL-103)

آزمایشگاه الکترونیک

آموزنده مدارهای الکتریکی ۱ (AE-102)	آموزنده جامع مدارهای الکترونیک (AE-106)
-------------------------------------	---

آموزنده مدارهای الکتریکی (AE-105)

آموزنده مدارهای الکتریکی ۳ (AE-104)

آموزنده مدارهای الکتریکی ۲ (AE-103)

کارگاه تجهیزات SMD (BE-106)

کارگاه مدار چاپی (BE-104)

آموزنده مدارهای الکتریکی پایه (AE-101)

آموزنده مدارهای مجتمع (AE-100)

آموزنده مدارهای الکتریکی و دیجیتال



ازمایشگاه های اتوماسیون صنعتی و ابزار دقیق

Industrial Automation and Instrumentation Labs



ازمایشگاه های سیستم های کنترل

Control Systems Labs



ازمایشگاه ابزار دقیق

- آموزنده الکترونیک و پنیوماتیک پایه (EP-100)
- آموزنده الکترونیک و پنیوماتیک تکمیلی (EP-101)
- آموزنده الکترونیک و پنیوماتیک پیشرفته (EP-102)
- آموزنده ابزار دقیق پایه (AI-113)
- آموزنده ابزار دقیق تکمیلی (AI-114)

ازمایشگاه اتوماسیون صنعتی

- آموزنده PLC LOGO (AI-101)
- آموزنده PLC S7-300 (AI-104)
- آموزنده PLC LG (AI-105)
- آموزنده PLC S7-300 پیشرفته (AI-106)
- آموزنده شبکه صنعتی با PLC S7-300 (AI-108)
- آموزنده مانتورینگ صنعتی (AI-110)
- آموزنده سیستم های کنترل درایوهای صنعتی (AI-117)
- آموزنده کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (IC-104)

ازمایشگاه کنترل صنعتی

- آموزنده کنترل دما (IC-100)
- آموزنده کنترل فشار (IC-101)
- آموزنده کنترل سطح و دبی (IC-102)
- آموزنده کنترل سرعت موتور (IC-103)
- آموزنده کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (IC-104)
- آموزنده شیب ساز اسانسور (AI-91)
- آموزنده شیب ساز کنترل دما (IC-90)
- آموزنده شیب ساز چراغ راهنمایی (AI-92)
- آموزنده شیب ساز کنترل دما (IC-91)
- آموزنده کنترل کامپیوتر (AI-109)
- آموزنده کنترل درایوهای صنعتی (AI-117)
- آموزنده مازول مانتورینگ و کنترل نرم افزار (DC-65)

ازمایشگاه سیستم های کنترل خطی

- آموزنده کنترل آنالوگ و سروو موتور (DC-100)
- آموزنده کنترل آنالوگ و سروو موتور (DC-101)
- آموزنده کنترل دیجیتال (DC-101)
- آموزنده کنترل آنالوگ و سروو موتور (DC-102)
- آموزنده کنترل دیجیتال (DC-101)
- آموزنده کنترل آنالوگ و سروو موتور (DC-102)
- آموزنده کنترل پیشرفته (AI-117)
- آموزنده کنترل درایوهای صنعتی (AI-117)
- آموزنده مازول مانتورینگ و کنترل نرم افزار (DC-65)

تجهیزات اندازه گیری

- کنترل کننده PID (IM-40)
- سرعت سنج (IM-50)
- فرکانس متر (IM-30)
- اندازه گیر فازور (IM-31)
- رله سنکرون جک (IM-21)
- سنکرون ساز اتوماتیک سه فاز (IM-22)
- کسینوس فی متر (IM-12)
- حفاظت فرکانسی رله (IM-20)
- مولتی فاز متر (IM-10)
- مولتی فانکشن متر سه فاز (IM-11)

ماشین های الکتریکی

- ترانسفورماتور سه فاز (T-12)
- ترانسفورماتور تکفاز (T-11)
- ماشین DC شنت (M-87)
- ماشین DC چندکاره (M-86)
- ماشین AC چندکاره (M-85)
- ماشین القایی روتور سیم پیچ سه فاز (M-82)
- ماشین سنکرون سه فاز (M-80)

کارگاه های الکتریکی

- کارگاه سیستم اعلام حریق (ET-116)
- کارگاه سیستم ضد سرقت (ET-115)
- کارگاه دوربین مدار بسته (ET-112)
- کارگاه صوتی و تصویری (ET-111)
- کارگاه سیستم آتن مرکزی (ET-110)
- کارگاه سیستم تلفن (ET-109)
- آموزنده ماشین های الکتریکی AC مدل گسترده (MC-112)
- آموزنده ماشین های الکتریکی DC مدل گسترده (MC-111)
- آموزنده کارگاه سیم پیچ (WWW-100)
- کارگاه سیم پیچ
- آموزنده مدار فرمان (CO-100)
- کارگاه برق
- آموزنده خانگی و صنعتی برق (EW-101)
- کارگاه برق خانگی (EW-100)
- کارگاه تاسیسات الکتریکی تکمیلی

ازمایشگاه سیستم های دیجیتال

- آموزنده کابلهای هوشمند پیشرفته (SH-101)
- آموزنده کابلهای هوشمند پایه (SH-100)
- کارگاه ساختمان هوشمند
- آموزنده تاسیسات الکتریکی (WWW-102)
- آموزنده سرکابل و مفصل (WWW-101)
- کارگاه تاسیسات الکتریکی

ازمایشگاه های تخصصی

- آموزنده مخابرات آنالوگ و دیجیتال (TC-105)
- آموزنده مخابرات دیجیتال (TC-103)
- آموزنده مخابرات دیجیتال (TC-105)
- آموزنده مخابرات آنالوگ و دیجیتال (TC-105)
- آموزنده مخابرات آنالوگ و دیجیتال (TC-103)
- آموزنده مخابرات آنالوگ و دیجیتال (TC-101)
- آموزنده مخابرات آنالوگ و دیجیتال (TC-101)

دستور کار آزمایشگاه مخابرات آنالوگ

اهداف:

مطالب اساسی دروس مخابرات آنالوگ در قالب ۹ آزمایش آموزش و مفاهیم مخابرات در دو زمینه سیستم و میدان مورد استفاده قرار می گیرد. دستور کار مخابرات آنالوگ، روش های مدولاسیون آنالوگ از قبیل AM، SSB، DSB-SC، و FM بر مبنای تراشه های کاربردی و منطبق با سر فصل درس مدارهای مخابراتی پیاده سازی شده اند.

پیش گفتار:

مطالب بیان شده در دستور کار هر آزمایش شامل مقدمه، شرح آزمایش و تحلیل و جداول مربوط و نیز سؤالات مربوط به آزمایش می باشد. این دستور کار طوری طرح شده است تا دانشجو حین انجام مراحل مختلف آزمایش، بخش های مختلف آن را تکمیل نماید و با تحلیل نتایج حاصل به درک عمیق تری از مفاهیم مخابرات آنالوگ دست یابد. طبیعتاً به دلیل زمان محدود آزمایشگاه، انجام برخی محاسبات در آزمایشگاه توسط دانشجو امکان پذیر نبوده و این مهم به بخش سؤالات انتهای هر بخش منتقل شده است.

هر دانشجو قبل از حضور در کلاس می بایست یک پیش گزارش راجع به مباحث جلسه جاری و گزارش تکمیل شده جلسه قبل را تحویل نماید. انجام بحث و تبادل نظر دانشجویان و مدرس کلاس راجع به نتایج حاصل از آزمایش ها تأثیر قابل ملاحظه ای بر درک سیستم مخابرات آنالوگ دارد. مسلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی هایی است که با پیشنهادات شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه های بعدی برطرف خواهد شد.

نکات مهم:

هشدار ۱ (خطر شوک الکتریکی) از آنجا که تغذیه اصلی دستگاه با برق سه فاز شهری انجام می‌گیرد، در هنگام انجام سیم‌بندی دقت کنید که برق دستگاه قطع باشد.



هشدار ۳ (خطر آسیب به دستگاه و شوک الکتریکی) برای تعمیر تجهیزات از افراد واجد شرایط و با هماهنگی شرکت سازنده استفاده نمایید.



هشدار ۴ (خطر آسیب به دستگاه و شوک الکتریکی) هیچ‌گونه اصلاح و یا تغییری در وضعیت فعلی تجهیزات مجاز نیست.



هشدار ۵ (خطر شوک الکتریکی) از سیم‌های رابط تمام عایق استفاده گردد.



هشدار ۶ (خطر آسیب به تجهیزات) پیش از وصل کردن برق دستگاه، سیم‌بندی با حضور مدرس بررسی گردد.



هشدار ۷ (خطر شوک الکتریکی) در هنگام کار با دستگاه از کفپوش عایق در محل نصب دستگاه استفاده گردد.



هشدار ۸ (خطر آسیب به تجهیزات) به تحلیل ورودی و خروجی‌های تجهیزات اقدام شود و از اعمال ورودی خارج از محدوده مجاز به تجهیز خودداری شود.



هشدار ۹ (خطای احتمالی) به منظور سیم‌بندی از سیم‌های رابط با رنگ‌بندی مختلف استفاده شود تا احتمال خطا به حداقل برسد.



کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت دانش بنیان ابزار آزما می‌باشد. هرگونه کپی برداری از این اثر، غیرقانونی بوده و پیگرد قانونی دارد.



فهرست مطالب

1 Contents

ج	نکات مهم:	.....
ح	فهرست مطالب	.....
۱	جدول راهنمای آزمایش ها	.....
۲	۱۰- آشنایی با مبدل آنالوگ به دیجیتال	.....
۳	۱ آشنایی با اسیلاتور	.....
۳	۱-۱ تشریح اصول	.....
۴	۱-۱-۱ اسیلاتور کولپیتس	.....
۵	۲-۱-۱ اسیلاتور هارتلی	.....
۷	۲-۱ تجهیزات مورد نیاز	.....
۷	۳-۱ آزمایشها	.....
۷	۱-۳-۱ آزمایش اسیلاتور کولپیتس	.....
۷	۲-۳-۱ آزمایش اسیلاتور هارتلی	.....
۸	۲ آشنایی با فیلتر	.....
۸	۱-۲ تشریح اصول	.....
۸	۱-۱-۲ فیلتر پایین گذر مرتبه دوم	.....
۱۰	۲-۱-۲ فیلتر بالا گذر مرتبه دوم	.....
۱۱	۲-۲ تجهیزات مورد نیاز	.....
۱۲	۳-۲ آزمایشها	.....
۱۲	۱-۳-۲ آزمایش فیلتر پایین گذر مرتبه دوم	.....
۱۲	۲-۳-۲ آزمایش فیلتر بالا گذر مرتبه دوم	.....
۱۶	۳ آشنایی با مدولاتور دامنه	.....
۱۶	۱-۳ تشریح اصول	.....
۱۸	۲-۳ تجهیزات مورد نیاز	.....
۱۹	۳-۳ آزمایشها	.....

۱۹.....	آزمایش مدولاتور دامنه.....	۱-۳-۳
۲۳.....	آشنایی با دمدولاتور دامنه.....	۴
۲۳.....	تشریح اصول.....	۱-۴
۲۳.....	آشکار ساز دیودی.....	۱-۱-۴
۲۴.....	آشکار ساز حاصل ضربی.....	۲-۱-۴
۲۵.....	تجهیزات مورد نیاز.....	۲-۴
۲۶.....	آزمایش ها.....	۳-۴
۲۶.....	آزمایش آشکار ساز دیودی.....	۱-۳-۴
۲۷.....	آشکار ساز حاصل ضربی.....	۲-۳-۴
۳۰.....	آشنایی با سیگنال های مدولاتور.....	۵
۳۰.....	تشریح اصول.....	۱-۵
۳۴.....	تجهیزات مورد نیاز.....	۲-۵
۳۴.....	آزمایش.....	۳-۵
۳۴.....	آزمایش مدولاتور DSB-SC.....	۱-۳-۵
۳۵.....	آزمایش مدولاتور SSB.....	۲-۳-۵
۴۶.....	آشنایی با سیگنال های دمولاتور.....	۶
۴۶.....	تشریح اصول.....	۱-۶
۴۷.....	تجهیزات مورد نیاز.....	۶-۶
۴۸.....	آزمایشها.....	6-7
۴۸.....	آزمایش آشکار ساز حاصل ضربی DSB-SC.....	۱-۷-۶
۴۸.....	آزمایش آشکار ساز حاصل ضربی SBB.....	۱-۶-۶
۵۳.....	آشنایی با مدولاسیون فرکانس FM.....	۷
۵۳.....	تشریح اصول.....	7-1
۵۳.....	اصول عملکرد مدولاسیون فرکانس.....	۱-۱-۷
۵۴.....	دیود واراكتور.....	۲-۱-۷
۵۵.....	مدولاتور فرکانس بر مبنای MC1648 VCO.....	۳-۱-۷
۵۷.....	مدولاتور فرکانس بر مبنای LM566 VCO.....	۴-۱-۷

۵۷	تجهیزات مورد نیاز.....	۲-۷
۵۷	آزمایشها.....	۳-۷
۵۷	آزمایش اندازه گیری مشخصات MC1648.....	۱-۳-۷
۵۸	آزمایش مدولاتور فرکانس MC1648.....	۲-۳-۷
۵۸	آزمایش اندازه گیری مشخصات LM566.....	۳-۳-۷
۵۹	آزمایش مدولاتور فرکانس با LM566.....	۴-۳-۷
۶۴	آشنایی با دمدولاتور FM.....	۸
۶۴	تشریح اصول.....	۱-۸
۶۴	عملکرد PLL.....	۱-۱-۸
۶۶	مشخصات تراشه LM565.....	۲-۱-۸
۶۸	دمولاتور فرکانس با استفاده از تراشه LM565.....	۳-۱-۸
۶۸	تجهیزات مورد نیاز.....	۲-۸
۶۸	آزمایش.....	۳-۸
۶۸	آزمایش اندازه گیری LM565.....	۱-۳-۸
۶۹	آزمایش اندازه گیری مشخصات ولتاژ فرکانس LM565.....	۲-۳-۸
۷۰	آزمایش دمولاتور فرکانس با PLL.....	۳-۳-۸

جدول
راهنمای
آزمایش ها

TC-105	TC-103	TC-102	TC-101	شماره و عنوان آزمایش
*			*	۱-آشنایی با اسیلاتور
*	*		*	۲-آشنایی با فیلتر
*	*		*	۳-آشنایی با مودلاتور
*	*		*	۴-آشنایی با دمودلاتور
*	*		*	۵-آشنایی با سیگنال های مودلاتور
*	*		*	۶-آشنایی با سیگنال های دمودلاتور
*	*		*	۷-آشنایی با مدولاسیون FM
*	*		*	۸-آشنایی با دمودلاتور FM
*			*	۹-آشنایی با سنتز کننده فرکانسی
*		*		۱۰- آشنایی با مبدل آنالوگ به دیجیتال
*		*		۱۱-آشنایی با مبدل های دیجیتال به آنالوگ
*		*		۱۲-آشنایی با مدولاسیون PWM
*		*		۱۳-آشنایی با دمودلاتور عرض پالس
*		*		۱۴-آشنایی با کلید زنی شیفت فرکانس FSK
*		*		۱۵-آشنایی با دمودلاتور FSK
*		*		۱۶-آشنایی با مدولاسیون و دمودلاسیون ASK
*		*		۸-آشنایی با مدولاسیون ودمودلاسیون PSK\QPSK

۱ آشنایی با اسیلاتور

اهداف:

۱. شناخت عملکرد و مشخصات اسیلاتورهای فرکانس رادیویی (RF).

۲. طراحی و پیاده‌سازی اسیلاتورها

۱-۱ تشریح اصول

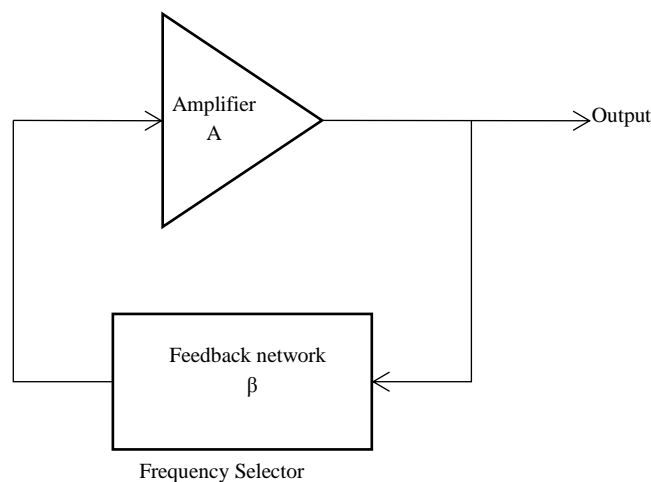
اسیلاتور به زبان ساده یک مولد سیگنال می‌باشد که ولتاژ DC تغذیه خود را بدون هیچگونه سیگنال ورودی به یک سیگنال خروجی AC تبدیل می‌کند. اسیلاتورها در سیستم‌های ارتباطی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. اسیلاتور سیگنال کریبر (carrier) یا سیگنال نوسان محلی را که در سیستم‌های ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد تولید می‌کند.

شکل ۱-۱ بلوک دیاگرام اساسی یک اسیلاتور را نشان می‌دهد. این بلوک دیاگرام شامل یک تقویت‌کننده و یک شبکه فیدبک متشکل از یک رزوناتور می‌باشد. زمانی که تغذیه DC برای اولین بار به مدار اعمال می‌شود، نویز در مدار ظاهر شده و این نویز توسط تقویت‌کننده تقویت می‌شود و سپس توسط شبکه فیدبک، که یک مدار تشدید با عملکرد فیلتر می‌باشد، به ورودی باز می‌گردد. شبکه فیدبک تنها اجازه عبور فرکانس تشدید را می‌دهد و به سایر فرکانس‌ها اجازه عبور نمی‌دهد. سیگنال فیدبک مجدداً تقویت شده و به ورودی باز می‌گردد. اگر سیگنال فیدبک هم‌فاز با سیگنال موجود در ورودی باشد و بهره آن نیز کافی باشد، اسیلاتور شروع به نوسان می‌کند.

برای عملکرد صحیح یک اسیلاتور باید رابطه بارک هاوزن (BarKhausen) در آن برقرار باشد. معیار بارک هاوزن رابطه بین بهره تقویت‌کننده اصلی (A) و بهره شبکه فیدبک اسیلاتور (β) را نشان می‌دهد که باید برابر ۱ باشد. یعنی

$$A\beta(s) \geq 1 \quad (1-1)$$

که A بهره تقویت‌کننده و $\beta(s)$ بهره شبکه فیدبک اسیلاتور می‌باشد.



شکل ۱-۱. بلوک دیاگرام یک اسیلاتور

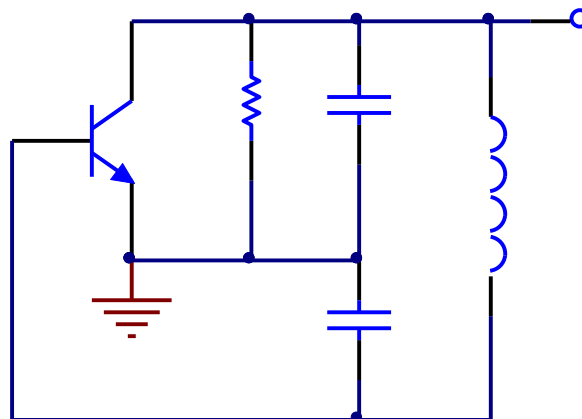
اسیلاتورهای ترانزیستوری در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته اند. یک تقویت کننده ترانزیستوری با مشخصه ic-vbe غیرخطی به عنوان محدود کننده دامنه عمل می کند. یک اسیلاتور با عملکرد محدود کنندگی زمانی که بهره حلقه آن برابر ۱ باشد، اسیلاتور خود محدود کننده (self-limiting oscillator) نامیده می شود. بنابراین مدار اسیلاتوری خود محدود کننده نیازی به افزودن مدار محدود کننده دامنه ندارد.

۱-۱-۱ اسیلاتور کولپیتس

مدار معادل ac یک اسیلاتور کولپیتس در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. از آنجایی که مدار تشدید موازی LC بین بیس و کلکتور ترانزیستور قرار گرفته است، ولتاژ فیدبک جزئی از طریق مقسم ولتاژ C1 و C2 به امیتر اعمال می شود. در این مدار مقاومت R نشان دهنده مجموع مقاومت های خروجی ترانزیستور، مقاومت بار و مقاومت معادل سلف و خازن می باشد.

اگر فرکانس خیلی زیاد نباشد، خازن های داخلی ترانزیستور قابل صرف نظر بوده، فرکانس نوسان اسیلاتور کولپیتس از فرمول زیر به دست خواهد آمد:

$$(2-1) f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}}$$



شکل ۲-۱. مدار معادل ac اسیلاتور کولپیتس

در مدار اسیلاتور کولپیتس، مقدار ضریب فیدبک برابر با $C1/C2$ و مقدار بهره ولتاژ تقویت کننده $g_m R$ می باشد. با توجه به رابطه ۱-۱:

$$A\beta(s) = 1$$

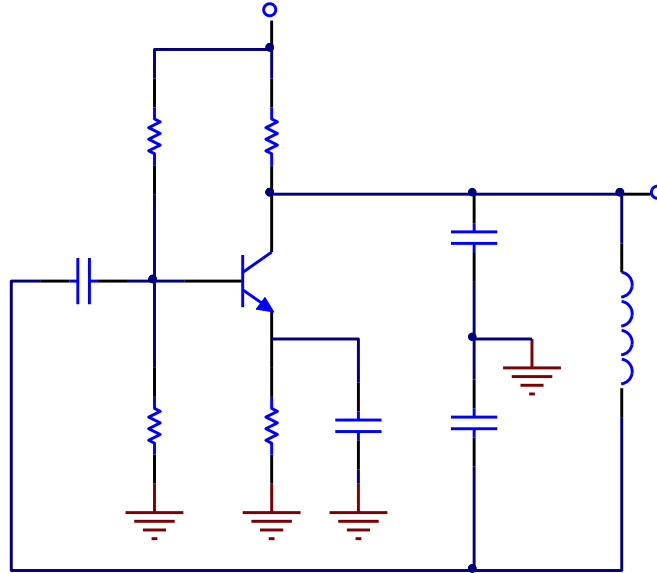
بدست می آید:

$$g_m R = \frac{C_2}{C_1}$$

برای شروع نوسان بهره حلقه باید حداقل ۱ باشد، پس شرط نوسان می تواند به صورت زیر نشان داده شود:

$$g_m R \geq \frac{C_2}{C_1} \quad (3-1)$$

شکل ۳-۱ مدار عملی اسیلاتور کولپیتس را نشان می‌دهد. مقاومت‌های R1، R2، R3 و R4 بایاس ترانزیستور را تعیین می‌کنند. خازن C1 کولپینک و خازن C2 خازن بای پس می‌باشد. فرکانس نوسان توسط مقادیر C3، C4 و L1 تعیین می‌شود.



شکل ۳-۱. مدار اسیلاتور کولپیتس

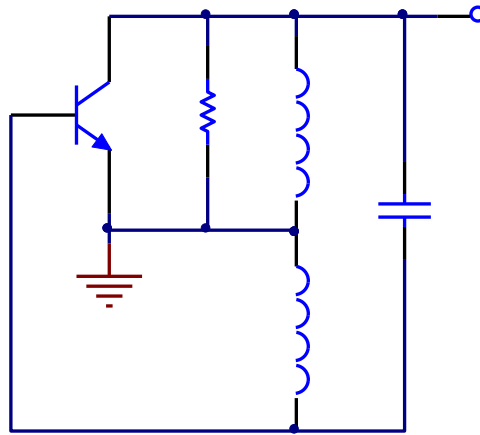
۲-۱-۱ اسیلاتور هارتلی

مدار معادل ac اسیلاتور هارتلی، که مشابه با اسیلاتور کولپیتس می‌باشد، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. تانک تشدید LC موازی بین بیس و کلکتور ترانزیستور متصل شده است. سلف‌های L1 و L2 جایگزین دو خازن شده است. مقاومت R نشان‌دهنده مجموع مقاومت‌های خروجی ترانزیستور، مقاومت بار و مقاومت معادل سلف‌ها و خازن می‌باشد.

اگر فرکانس خیلی زیاد نباشد، خازن‌های داخلی ترانزیستور قابل صرف‌نظر شده و فرکانس نوسان اسیلاتور هارتلی از فرمول زیر به دست خواهد آمد:

$$(4-1)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}}$$



شکل ۴-۱. معادل ac اسیلاتور هارتلی

در مدار اسیلاتور هارتلی، مقدار ضریب فیدبک برابر با L_2/L_1 و مقدار بهره ولتاژ تقویت کننده $g_m R$ می باشد. با توجه به رابطه ۱-۱:

$$A\beta(s) = 1$$

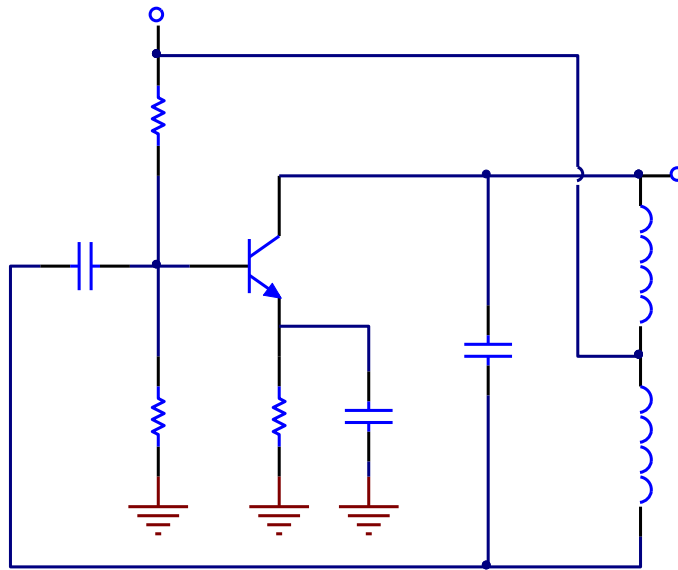
بدست می آید:

$$g_m R = \frac{L_1}{L_2}$$

برای شروع نوسان بهره حلقه باید حداقل ۱ باشد، پس شرط نوسان می تواند به صورت زیر نشان داده شود:

$$g_m R \geq \frac{L_1}{L_2} \quad (5-1)$$

شکل ۵-۱ مدار عملی اسیلاتور هارتلی را نشان می دهد. مقاومت های R_1 ، R_2 و R_3 بایاس ترانزیستور را تأمین می کنند. خازن C_1 خازن کوپلینگ و خازن C_2 خازن بای پس می باشد. خازن C_3 و سلف های L_1 و L_2 مدار تشدید را تشکیل می دهند و فرکانس نوسان را تعیین می کنند.



شکل ۱-۵. مدار اسیلاتور هارتلی

۲-۱ تجهیزات مورد نیاز

- ماژول TC94
- اسیلوسکوپ

۳-۱ آزمایش‌ها

۱-۳-۱ آزمایش اسیلاتور کولپیتس

۱. اتصالات J1 و J3 را برقرار نمایید تا مقدار $C4=0.015 \mu F$ ، $C3=0.001 \mu F$ و $L1=27 \mu H$ انتخاب شود.
۲. دامنه اسکوپ را بر روی ac قرار داده و خروجی (O/P) را بر روی اسکوپ مشاهده نمایید و مقدار دامنه و فرکانس سیگنال خروجی را در جدول ۱-۱ یادداشت نمایید.
۳. اتصالات J1 و J3 را قطع کرده و اتصالات J2 و J4 را برقرار کنید تا $C3$ به 100 pF و $C4$ به 1000 pF و $L1$ به $L2=2.7 \mu H$ تغییر یابد. بند ۲ را تکرار کنید.

۲-۳-۱ آزمایش اسیلاتور هارتلی

۱. اتصالات J1 و J3 را برقرار نمایید تا مقدار $L1=47 \mu H$ ، $L2=470 \mu H$ و $C3=150 \text{ pF}$ انتخاب شود.
۲. دامنه اسکوپ را بر روی ac قرار داده و خروجی (O/P) را بر روی اسکوپ مشاهده نمایید و مقدار دامنه و فرکانس سیگنال خروجی را در جدول ۲-۱ یادداشت نمایید.
۳. حال اتصالات J2 و J4 را برقرار کنید تا مقدار $L1=68 \mu H$ ، $L2=2.7 \mu H$ و $C3=100 \text{ pF}$ انتخاب شود. بند ۲ را تکرار کنید.

۲ آشنایی با فیلتر

اهداف:

۱. شناخت مشخصات فیلترها
۲. شناخت مزیت فیلترهای فعال
۳. پیاده‌سازی فیلتر درجه ۲ با مدار انتگرالگیر

۱-۲ تشریح اصول

فیلترها که در بخش‌های مختلف سیستم‌های مخابراتی وجود دارند، برای عبور باند فرکانسی مشخص و تضعیف بخش بیرونی این باند طراحی می‌شوند.

فیلترها معمولاً بر اساس محدوده فیلترینگ، پاسخ فرکانسی در باند عبوری و قطعات مورد استفاده در مدار تقسیم‌بندی می‌شوند. بر اساس محدوده فیلترینگ چهار دسته فیلتر وجود دارد: پایین‌گذر، بالاگذر، میان‌گذر و میان‌ناگذر. بر اساس پاسخ فرکانسی در باند عبوری دو نوع فیلتر وجود دارد: فیلترهای باترورث و چبی‌شف. بر اساس قطعات مورد استفاده در مدار دو نوع فیلتر وجود دارد: فیلترهای فعال و پسیو.

فیلترهای پسیو مدارهایی هستند که فقط شامل قطعات پسیو (مقاومت، سلف و خازن) می‌باشد. فیلترهای فعال، که در این درس مورد بررسی قرار می‌گیرند، شامل قطعات فعال (ترانزیستور یا تقویت‌کننده عملیاتی) به علاوه مقاومت، سلف و خازن می‌باشد. فیلترهای فعال به علت داشتن مزایای زیر بصورت وسیعی در سیستم‌های ارتباطی مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱. توابع انتقال با مشخصه‌های سلفی را می‌توان با استفاده از مقاومت طراحی نمود.
 ۲. مقاومت ورودی بسیار زیاد و مقاومت خروجی بسیار کم op-amp به این معنی است که مدار فیلتر دارای ویژگی جداسازی (isolation) بسیار عالی بوده و برای بستن متوالی مناسب می‌باشد.
 ۳. از آنجایی که قطعات فعال دارای بهره هستند لذا فیلترهای فعال نیز دارای بهره می‌باشند.
- در بخش‌های زیر، ما بر روی مشخصه‌های فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر مرتبه دوم تمرکز خواهیم کرد.

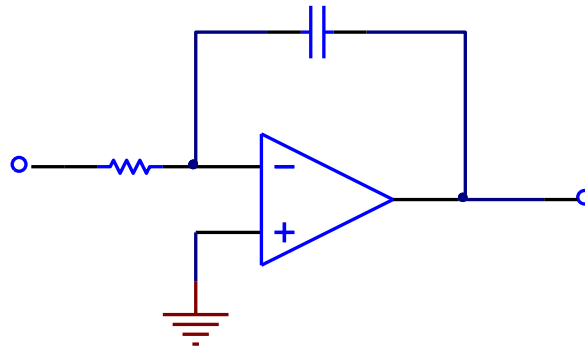
۱-۱-۲ فیلتر پایین‌گذر مرتبه دوم

فیلتر پایین‌گذر یک مدار الکترونیکی است که از فرکانس dc تا فرکانس قطع (cut-off frequency) دارای یک ولتاژ خروجی ثابت می‌باشد. همانطور که فرکانس از فرکانس قطع بالاتر می‌رود ولتاژ خروجی تضعیف می‌شود. فرکانس قطع، فرکانس ۰٫۷۰۷، فرکانس 3dB یا فرکانس گوشه فرکانسی است که در آن ولتاژ خروجی ۰٫۷۰۷ بار از مقدار ولتاژ باند عبوری کمتر می‌باشد. یک فیلتر فعال پایین‌گذر نوعی که انتگرالگیر معکوس‌کننده یا انتگرالگیر میلر نیز نامیده می‌شود، در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. تابع انتقال آن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{-1}{RC} = \frac{-1}{RC} = -\frac{\omega_0}{s} \quad (1-2)$$

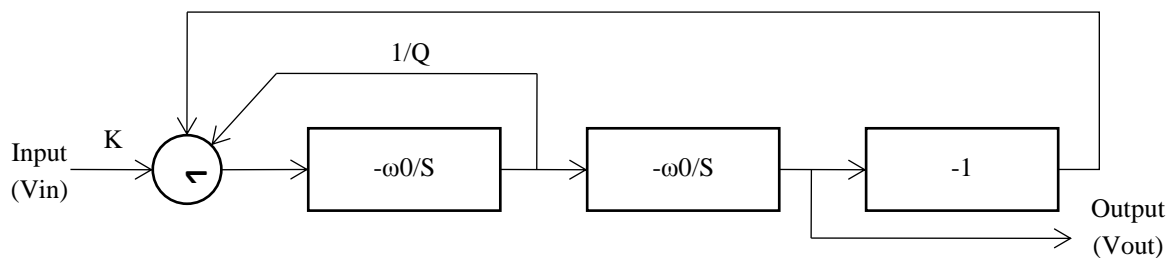
که در آن

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$



شکل ۲-۱. انتگرالگیر میلر

از رابطه ۲-۱ می توان فهمید که انتگرالگیر میلر یک فیلتر پایین گذر مرتبه اول می باشد. بنابراین، یک فیلتر پایین گذر مرتبه دوم را می توان به آسانی با سری کردن دو انتگرالگیر میلر و یک تقویت کننده با بهره ۱- ساخت.



شکل ۲-۲. بلوک دیاگرام یک فیلتر پایین گذر مرتبه دوم

بلوک دیاگرام فیلتر پایین گذر مرتبه دوم، که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، از دو عدد انتگرالگیر میلر، یک تقویت کننده معکوس کننده با بهره واحد و یک جمع کننده تشکیل شده است. بنابراین تابع انتقال آن عبارت است از:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{K \omega_0^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2} \quad (2-2)$$

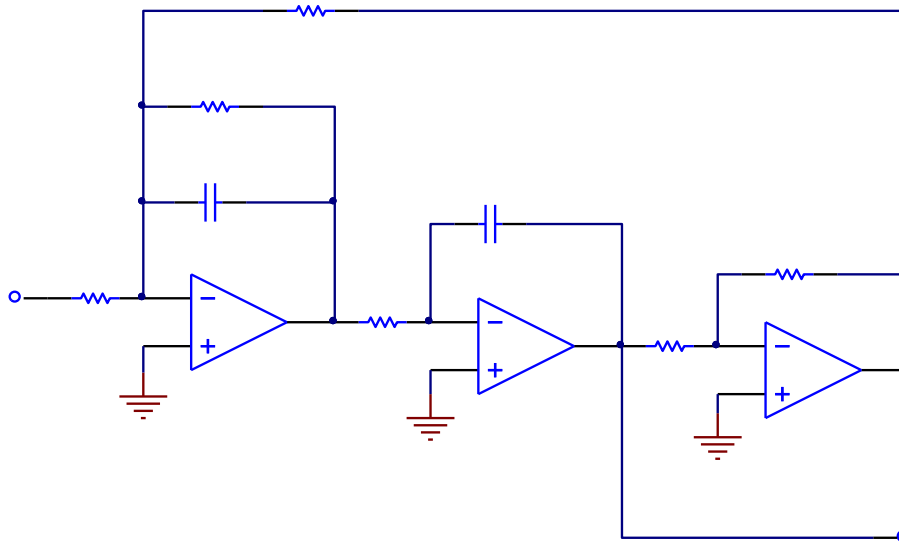
با پیروی از این بلوک دیاگرام، به مدار عملی یک فیلتر پایین گذر مرتبه دوم می رسیم که در شکل ۳-۲ نشان داده است. در این مدار تقویت کننده عملیاتی U1:A هم به عنوان جمع کننده و هم به عنوان اولین انتگرالگیر میلر عمل می کند. با فرض $C_1 = C_2 = C$ و $R_6 = R_5 = R_4 = R_3$ و حل معادله ۲-۲ خواهیم داشت:

$$K = \frac{R_3}{R_1} \quad (3-2)$$

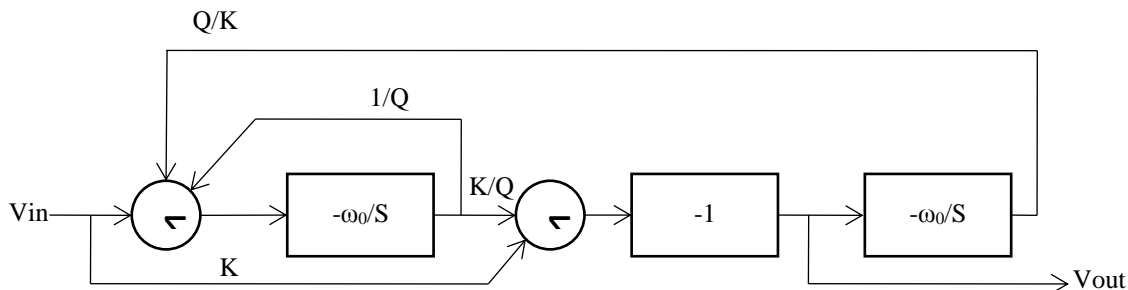
$$\omega_0 = \frac{1}{C \sqrt{R_3 R_4}} \quad (4-2)$$

$$Q = \frac{R_2}{\sqrt{R_3 R_4}} \quad (5-2)$$

در مدار شکل ۲-۳ قطعات R_1, R_2, R_3, C_1 و $U_1:A$ انتگرالگیر میلر و جمع کننده وزن دار را می سازند. جمع کننده به منظور جمع کردن سیگنال ورودی و سیگنال فیدبک خروجی از $U_1:C$ مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب R_4, C_2 و $U_1:B$ دومین انتگرالگیر میلر و R_5, R_6 و $U_1:C$ تقویت کننده معکوس کننده با بهره واحد را می سازند. از آنجایی که مدار طراحی شده معیارهای فیلتر باتروث را برآورده می سازد لذا منحنی پاسخ فرکانسی این مدار در باند عبوری ثابت بوده و هیچ ناهمواری و موجی ندارد.



شکل ۲-۳. مدار فیلتر پایین گذر مرتبه دوم



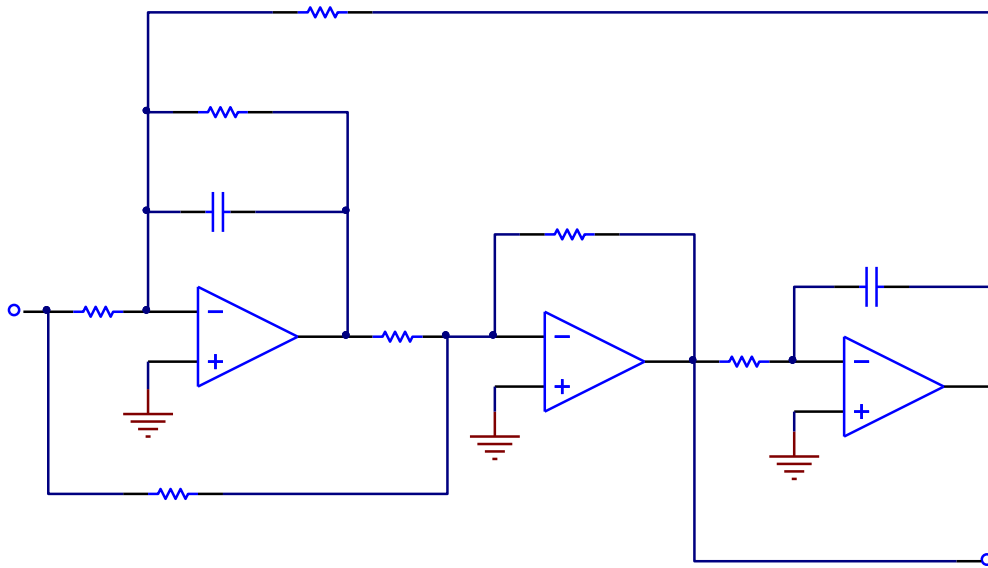
شکل ۲-۴. بلوک دیاگرام یک فیلتر بالاگذر مرتبه دوم

۲-۱-۲ فیلتر بالاگذر مرتبه دوم

پاسخ فرکانسی یک فیلتر بالاگذر مرتبه دوم برعکس پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر مرتبه دوم می باشد. یک فیلتر بالاگذر ولتاژهای خروجی را برای تمامی فرکانسهای زیر فرکانس قطع تضعیف می کند. بالای فرکانس قطع، دامنه ولتاژ خروجی ثابت است. بلوک دیاگرام شکل ۲-۴ یک فیلتر بالاگذر مرتبه دوم را نشان می دهد که از دو انتگرالگیر میلر، یک تقویت کننده معکوس کننده و دو جمع کننده تشکیل شده است. تابع انتقال آن به صورت زیر است:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{-KS^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2} \quad (۶-۲)$$

با پیروی از این بلوک دیاگرام، مدار یک فیلتر بالاگذر مرتبه دوم عملی در شکل ۲-۵ نشان داده است.



شکل ۲-۵. مدار فیلتر بالاگذر مرتبه دوم

با مقایسه شکل های ۲-۴ و ۲-۵، $U1:A$ به عنوان اولین انتگرالگیر میسر و اولین جمع کننده عمل می کند. $U1:B$ نیز به عنوان دومین جمع کننده و تقویت کننده معکوس کننده با بهره واحد عمل می کند. با فرض $C_1 = C_2 = C$ و $R_7 = R_6 = R_5$ و $R_1 R_4 = R_2 R_3$ و حل معادله ۲-۶ خواهیم داشت:

$$K = \frac{R_5}{R_2} \quad (7-2)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_4 R_5}} \quad (8-2)$$

$$Q = \frac{R_3}{\sqrt{R_4 R_5}} \quad (9-2)$$

در مدار شکل ۲-۵ قطعات R_1, R_3, R_7, C_1 و $U1:A$ به عنوان اولین انتگرالگیر میسر با عملکرد جمع کننده وزن دار عمل می کنند. جمع کننده برای جمع کردن سیگنال ورودی با سیگنال خروجی $U1:C$ مورد استفاده قرار گرفته است. جمع کننده دوم از قطعات R_2, R_4, R_5 و $U1:B$ تشکیل شده و برای جمع کردن سیگنال ورودی با خروجی $U1:A$ مورد استفاده قرار گرفته است. قطعات R_6, R_3 و $U1:C$ دومین انتگرالگیر میسر را می سازند. از آنجایی که مدار طراحی شده معیارهای فیلتر باترورث را برآورده می سازد لذا منحنی پاسخ فرکانسی این مدار در باند عبوری ثابت بوده و هیچ ناهمواری و موجی ندارد.

۲-۲ تجهیزات مورد نیاز

- ماژول TC94
- اسیلوسکوپ

۳-۲ آزمایش‌ها

۱-۳-۲ آزمایش فیلتر پایین‌گذر مرتبه دوم

۱. اتصالات J_1 و J_2 در بخش Second Order LPF را برقرار کنید. در این حالت مقدار $C_1 = C_2 = 0.001 \mu\text{F}$ می‌شود.
۲. یک سیگنال سینوسی با دامنه $V_{p-p} = 100\text{mV}$ و فرکانس 10 هرتز را به ورودی (I/P) اعمال کنید. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال خروجی را مشاهده کرده و در جدول ۱-۲ ثبت نمایید.
۳. دامنه سیگنال‌های خروجی را برای فرکانس‌های ورودی 100 Hz ، 1 kHz ، 2 kHz ، 5 kHz ، 8 kHz ، 10 kHz ، 20 kHz ، 50 kHz و 100 kHz مشاهده و در جدول ۱-۲ ثبت نمایید.
۴. به ازای هر فرکانس بهره ولتاژ را محاسبه کرده و نتایج را در جدول ۱-۲ ثبت نمایید.
۵. با توجه به نتایج جدول ۱-۲ نمودار بود (Bode) بهره ولتاژ را رسم نمایید.
۶. اتصالات J_3 و J_4 در بخش Second Order LPF را برقرار کنید. در این حالت مقدار $C_3 = C_4 = 0.01 \mu\text{F}$ می‌شود.
۷. دامنه سیگنال‌های خروجی را برای فرکانس‌های ورودی 10 Hz ، 100 Hz ، 200 Hz ، 500 Hz ، 800 Hz ، 1 kHz ، 2 kHz ، 5 kHz ، 10 kHz و 100 kHz مشاهده و در جدول ۲-۲ ثبت نمایید.
۸. به ازای هر فرکانس بهره ولتاژ را محاسبه کرده و نتایج را در جدول ۲-۲ ثبت نمایید.
۹. با توجه به نتایج جدول ۲-۲ نمودار بود (Bode) بهره ولتاژ را رسم نمایید.

۲-۳-۲ آزمایش فیلتر بالا‌گذر مرتبه دوم

۱. اتصالات J_1 و J_2 در بخش Second Order HPF را برقرار کنید. در این حالت مقدار $C_1 = C_2 = 0.0047 \mu\text{F}$ می‌شود.
۲. یک سیگنال سینوسی با دامنه $V_{p-p} = 100\text{mV}$ و فرکانس 10 هرتز را به ورودی (I/P) اعمال کنید. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال خروجی رو مشاهده کرده و در جدول ۳-۲ ثبت نمایید.
۳. دامنه سیگنال‌های خروجی را برای فرکانس‌های ورودی 100 Hz ، 1 kHz ، 2 kHz ، 5 kHz ، 8 kHz ، 10 kHz ، 20 kHz ، 50 kHz و 100 kHz مشاهده و در جدول ۳-۲ ثبت نمایید.
۴. به ازای هر فرکانس بهره ولتاژ را محاسبه کرده و نتایج را در جدول ۳-۲ ثبت نمایید.
۵. با توجه به نتایج جدول ۳-۲ نمودار بود (Bode) بهره ولتاژ را رسم نمایید.
۶. اتصالات J_3 و J_4 در بخش Second Order HPF را برقرار کنید. در این حالت مقدار $C_3 = C_4 = 0.015 \mu\text{F}$ می‌شود.
۷. دامنه سیگنال‌های خروجی را برای فرکانس‌های ورودی 10 Hz ، 100 Hz ، 200 Hz ، 500 Hz ، 800 Hz ، 1 kHz ، 2 kHz ، 5 kHz ، 10 kHz و 100 kHz مشاهده و در جدول ۴-۲ ثبت نمایید.
۸. به ازای هر فرکانس بهره ولتاژ را محاسبه کرده و نتایج را در جدول ۴-۲ ثبت نمایید.

۹. با توجه به نتایج جدول ۲-۴ نمودار بود (Bode) بهره ولتاژ را رسم نمایید.

$(C_1 = C_2 = 0.001 \text{ uF})$

10	100	1K	2K	5K	8K	10K	20K	50K	100K	فرکانس ورودی (هرتز)
										دامنه خروجی (میلی ولت)
										بهره ولتاژ (dB)

جدول ۱-۲

$(C_1 = C_2 = 0.01 \text{ uF})$

10	100	1K	2K	5K	8K	10K	20K	50K	100K	فرکانس ورودی (هرتز)
										دامنه خروجی (میلی ولت)
										بهره ولتاژ (dB)

جدول ۲-۲

$(C_1 = C_2 = 0.0047 \text{ uF})$

10	100	1K	2K	5K	8K	10K	20K	50K	100K	فرکانس ورودی (هرتز)
										دامنه خروجی (میلی ولت)
										بهره ولتاژ (dB)

جدول ۳-۲

$(C_1 = C_2 = 0.015 \text{ uF})$

10	100	1K	2K	5K	8K	10K	20K	50K	100K	فرکانس ورودی (هرتز)
										دامنه خروجی (میلی ولت)
										بهره ولتاژ (dB)

جدول ۴-۲

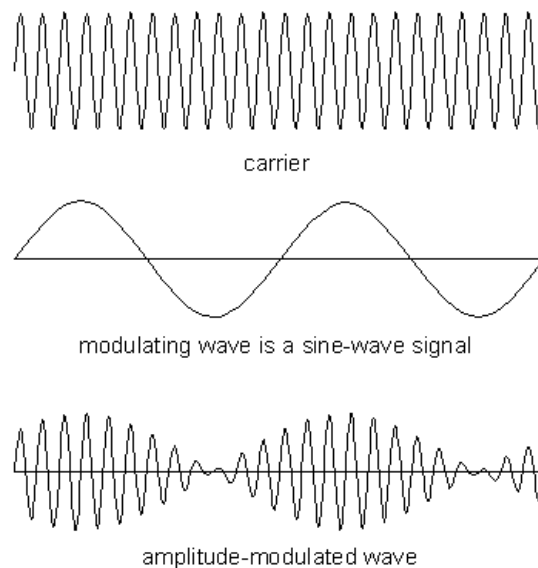
۳ آشنایی با مدولاتور دامنه

اهداف:

۱. شناخت اصول مدولاسیون دامنه (AM)
۲. شناخت شکل موج و طیف فرکانسی سیگنال AM و محاسبه درصد مدولاسیون
۳. طراحی مدولاتور AM با استفاده از MC1496
۴. اندازه‌گیری و تنظیم مدار مدولاتور دامنه

۱-۳ تشریح اصول

مدولاسیون فرایند سوار کردن سیگنال پیام فرکانس پایین بر روی یک سیگنال کریر فرکانس بالا می‌باشد. مدولاسیون دامنه (AM) فرایندی است که در آن یک سیگنال کریر فرکانس بالا توسط یک سیگنال فرکانس پایین (معمولاً سیگنال صوت) مدوله می‌شود. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، در مدولاسیون دامنه، دامنه کریر با تغییر دامنه سیگنال مدوله کننده تغییر می‌کند.



شکل ۱-۳. شکل موج‌های مدولاسیون دامنه

اگر سیگنال پیام $A_m \cos(2\pi f_m t)$ و سیگنال کریر $A_c \cos(2\pi f_c t)$ باشد، سیگنال مدوله شده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$x_{AM}(t) = [A_{DC} + A_m \cos(2\pi f_m t)] A_c \cos(2\pi f_c t)$$

$$= A_{DC} A_c [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (1-3)$$

که در آن:

A_{DC} برابر با سطح dc

A_m دامنه سیگنال پیام

A_c دامنه کریر

f_m فرکانس پیام

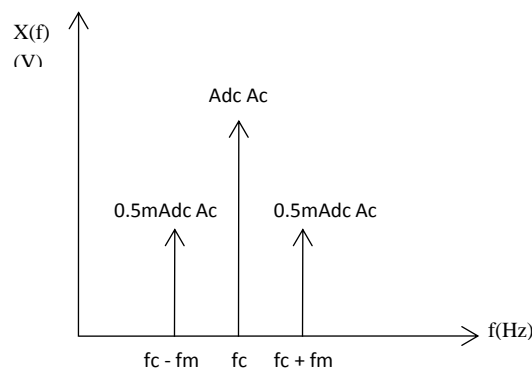
f_c فرکانس کریر

m ضریب مدولاسیون یا عمق مدولاسیون بوده و برابر است با $\frac{A_m}{A_{DC}}$

با بازنویسی معادله ۳-۱ خواهیم داشت:

$$x_{AM}(f) = \frac{1}{2}A_{DC}A_c m \{ \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \} + A_{DC}A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (۳-۲)$$

عبارت نخست در طرف دوم معادله ۳-۲ سیگنال کنارجذر DSB(double sideband) و عبارت دوم سیگنال کریر می باشد. با توجه به معادله ۳-۲ می توان طیف سیگنال مدوله شده AM را همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده رسم نمود. در یک انتقال AM، فرکانس و دامنه کریر ثابت باقی می ماند در حالی که باندهای کناری در فرکانس و دامنه به صورت ثابتی تغییر می کنند. از آنجایی که سیگنال کریر هرگز تغییر نمی کند لذا حاوی هیچ اطلاعات یا پیامی نمی باشد. به عبارت دیگر توان سیگنال کریر در انتقال سیگنال AM به صورت خالص تلف می شود. بنابراین، بازده انتقال مدولاسیون دامنه نسبت به مدولاسیون DSB-SC کمتر بوده ولی مدار دمولاتور آن ساده تر می باشد.



شکل ۳-۲. طیف سیگنال AM

مقدار m در معادله ۳-۲ که اندیس مدولاسیون یا عمق مدولاسیون نامیده می شود، پارامتر بسیار مهمی می باشد. زمانی که m بر حسب درصد می باشد معمولاً مدولاسیون درصد نامیده می شود. m به صورت زیر تعریف می شود:

$$m = \frac{\text{Modulating Amplitude}}{\text{DC Level}} \times 100\% = \frac{A_m}{A_{DC}} \times 100\% \quad (۳-۳)$$

محاسبه A_{DC} در مدارهای عملی دشوار است لذا معمولاً اندیس مدولاسیون از رابطه زیر بدست می آید:

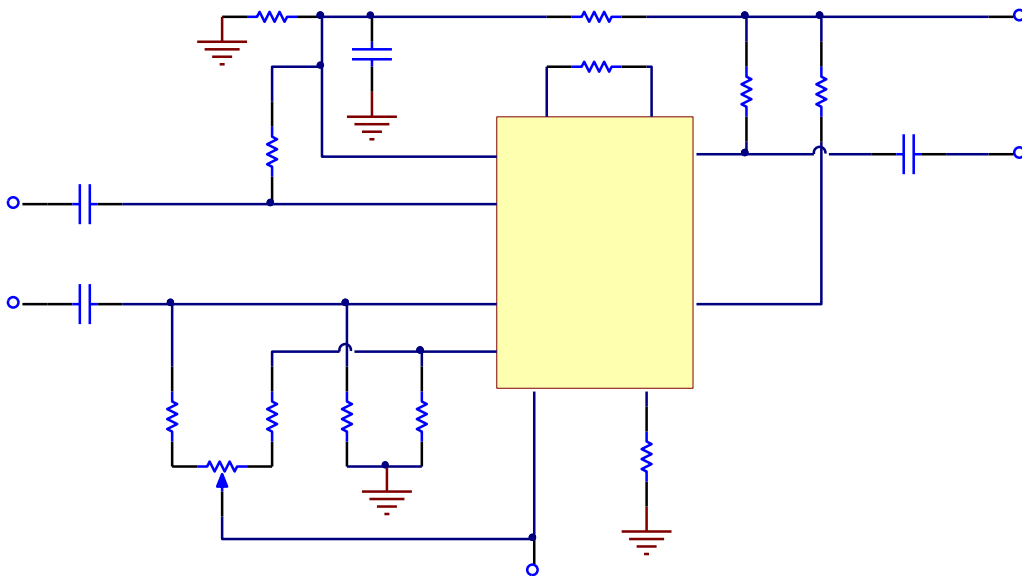
$$m = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\% \quad (۴-۳)$$

که در آن $E_{\min} = A_c - A_m$ و $E_{\max} = A_c + A_m$

همانطور که در بالا اشاره شد سیگنال پیام در باندهای کناری گنجانده شده است، بنابراین سیگنال های باند کناری بزرگتر منجر به بهره انتقال بزرگتر خواهد شد. از معادله ۲-۳ می توان به این نتیجه رسید که هر چه اندیس مدولاسیون بزرگتر باشد سیگنال های باند کناری بزرگتر شده و در نتیجه بازده انتقال نیز بزرگتر خواهد شد. در عمل اندیس مدولاسیون معمولاً کمتر یا مساوی ۱ می باشد. اگر $m > 1$ باشد اصطلاحاً می گویند over modulation رخ داده است.

در آزمایش های زیر مدولاتور AM با استفاده از آی سی MC1496 پیاده سازی شده است. بهره MC1496 را می توان توسط یک مقاومت خارجی که بین پایه های ۲ و ۳ وصل می شود کنترل نمود. برای مدولاسیون AM، سیگنال مدوله کننده باید به بین های ۱ و ۴ و سیگنال کریر به بین های ۸ و ۱۰ اعمال شود. جریان بایاس مورد نیاز نیز از طریق اتصال یک مقاومت از پایه ۵ به تغذیه تأمین می شود.

شکل ۳-۳ مدار مدولاسیون AM را نشان می دهد که سیگنال های کریر و پیام به صورت ورودی های single-ended به ترتیب به پایه های ۱۰ و ۱ اعمال شده اند. بهره کلی مدار توسط مقاومت R_8 تعیین می شود. مقاومت R_9 مقدار جریان بایاس را تعیین می کند. با تغییر مقدار VR_1 یا دامنه سیگنال پیام می توان مقدار درصد مدولاسیون را تغییر داد.



شکل ۳-۳. مدولاتور دامنه با استفاده از MC1496

۲-۳ تجهیزات مورد نیاز

۱. مازول TC-99
۲. اسیلوسکوپ
۳. Spectrum Analyzer
۴. RF Generator

۳-۳ آزمایشها

۱-۳-۳ آزمایش مدولاتور دامنه

۱. اتصالات J_1 و J_3 را برقرار کرده تا مقدار $R_8 = 1K$ و $R_9 = 6.8K$ انتخاب شود.
۲. یک سیگنال سینوسی با دامنه $250mV_{p-p}$ و فرکانس 1 kHz را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه $250mV_{p-p}$ و فرکانس 100 kHz را به ورودی سیگنال کریپر (I/P1) اعمال کنید.
۳. خروجی سیگنال AM (O/P) را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کرده و با تغییر VR_1 اندیس مدولاسیون را برابر 50% درصد تنظیم کنید. نتایج را در جدول ۱-۳ ثبت نمایید.
۴. با استفاده از Spectrum Analyzer طیف سیگنال خروجی را مشاهده کرده و در جدول ۱-۳ ثبت نمایید.
۵. با استفاده از نتایج فوق و رابطه (۴-۳) مقدار درصد مدولاسیون سیگنال خروجی را محاسبه کرده و در جدول ۱-۳ ثبت نمایید.
۶. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال خروجی را به ازای سیگنالهای پیام ورودی با دامنه 200 mV_{p-p} و 150 mV_{p-p} مشاهده نموده و در جدول ۱-۳ ثبت نمایید.
۷. گامهای ۴ و ۵ را تکرار کنید.
۸. یک سیگنال سینوسی با دامنه $150mV_{p-p}$ و فرکانس 1 kHz را به ورودی (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه $100mV_{p-p}$ و فرکانس 100 kHz را به ورودی سیگنال کریپر (I/P1) اعمال کنید.
۹. خروجی سیگنال AM (O/P) را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۲-۳ ثبت نمایید.
۱۰. با استفاده از Spectrum Analyzer طیف سیگنال خروجی را مشاهده کرده و در جدول ۲-۳ ثبت نمایید.
۱۱. با استفاده از نتایج فوق و رابطه (۴-۳) مقدار درصد مدولاسیون سیگنال خروجی را محاسبه کرده و در جدول ۲-۳ ثبت نمایید.
۱۲. گامهای ۹ تا ۱۱ را برای سیگنال کریپر با دامنههای $200mV_{p-p}$ و $300mV_{p-p}$ تکرار کنید.
۱۳. یک سیگنال سینوسی با دامنه $150mV_{p-p}$ و فرکانس 3 kHz را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه $250mV_{p-p}$ و فرکانس 100 kHz را به ورودی سیگنال کریپر (I/P1) اعمال کنید.
۱۴. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال مدوله شده را در ترمینال خروجی (O/P) مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۳-۳ ثبت نمایید.
۱۵. با استفاده از Spectrum Analyzer طیف سیگنال خروجی را مشاهده کرده و در جدول ۳-۳ ثبت نمایید.
۱۶. با استفاده از نتایج فوق و رابطه (۴-۳) مقدار درصد مدولاسیون سیگنال خروجی را محاسبه کرده و در جدول ۳-۳ ثبت نمایید.

۱۷. گام‌های ۱۴ تا ۱۶ را برای سیگنال پیام با فرکانس‌های 2 kHz و 1 kHz تکرار نمایید.

۱۸. یک سیگنال سینوسی با دامنه 150mV_{p-p} و فرکانس 2 kHz را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه 250mV_{p-p} و فرکانس 500 kHz را به ورودی سیگنال کریبر (I/P1) اعمال کنید.

۱۹. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال مدوله شده را در ترمینال خروجی (O/P) مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۳-۴ ثبت نمایید.

۲۰. با استفاده از Spectrum Analyzer طیف سیگنال خروجی را مشاهده کرده و در جدول ۳-۴ ثبت نمایید.

۲۱. با استفاده از نتایج فوق و رابطه (۳-۴) مقدار درصد مدولاسیون سیگنال خروجی را محاسبه کرده و در جدول ۳-۴ ثبت نمایید.

۲۲. گام‌های ۱۹ تا ۲۱ را برای سیگنال کریبر با فرکانس‌های 1 MHz و 2 MHz تکرار نمایید.

($V_c = 250\text{mV}_{p-p}$, $f_c = 100\text{kHz}$, $f_m = 1\text{kHz}$)

شکل موج خروجی	طیف سیگنال خروجی	درصد مدولاسیون	دامنه سیگنال پیام
$E_{max} =$ $E_{min} =$			250mV_{p-p}
$E_{max} =$ $E_{min} =$			200mV_{p-p}
$E_{max} =$ $E_{min} =$			150mV_{p-p}

جدول ۳-۱

($V_m = 150 \text{ mV}_{p-p}$, $f_c = 100 \text{ kHz}$, $f_m = 1 \text{ kHz}$)

شکل موج خروجی	طیف سیگنال خروجی	درصد مدولاسیون	دامنه سیگنال کریبر
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			100 mV_{p-p}
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			200 mV_{p-p}
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			300 mV_{p-p}

جدول ۲-۳

($V_c = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $V_m = 150 \text{ mV}_{p-p}$, $f_c = 100 \text{ kHz}$)

شکل موج خروجی	طیف سیگنال خروجی	درصد مدولاسیون	فرکانس سیگنال پیام
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			3 kHz
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			2 kHz
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			1 kHz

جدول ۳-۳

($V_c = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $V_m = 150 \text{ mV}_{p-p}$, $f_c = 2 \text{ kHz}$)

شکل موج خروجی	طیف سیگنال خروجی	درصد مدولاسیون	فرکانس سیگنال کریبر
$E_{max} =$ $E_{min} =$			500 kHz
$E_{max} =$ $E_{min} =$			1 MHz
$E_{max} =$ $E_{min} =$			2 MHz

جدول ۳-۴

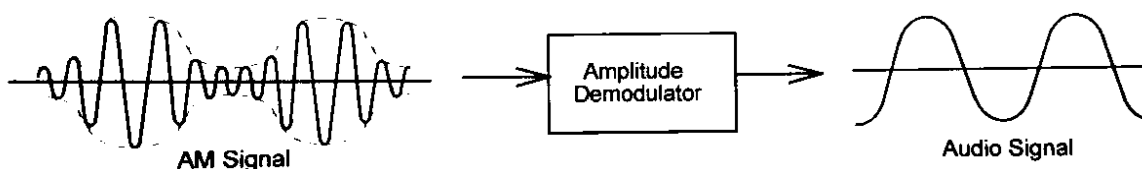
۴. آشنایی با دمدولاتور دامنه

اهداف :

۱. شناخت اصول دمدولاسیون دامنه
۲. پیاده سازی دمدولاتور دامنه با استفاده از دیود
۳. پیاده سازی دمدولاتور دامنه با استفاده از آشکارساز حاصل ضربی

۱-۴ تشریح اصول

فرایند دمدولاسیون عکس فرایند مدولاسیون می باشد. همانطور که در آزمایش ۳ گفته شد، سیگنال AM یک سیگنال مدوله شده می باشد که در آن دامنه سیگنال فرکانس بالای کریر توسط دامنه سیگنال فرکانس پایین پیام تغییر می کند. برای بازیابی سیگنال پیام در گیرنده، ضروری است تا سیگنال پیام از سیگنال AM استخراج شود. فرایند استخراج سیگنال مدوله کننده از سیگنال مدوله شده را دمدولاسیون یا آشکارسازی می نامند. این فرایند در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. آشکارسازهای AM به دو دسته تقسیم می شوند: آشکارسازهای سنکرون و آسنکرون. در این بخش این دو نوع آشکارساز بحث خواهد شد.

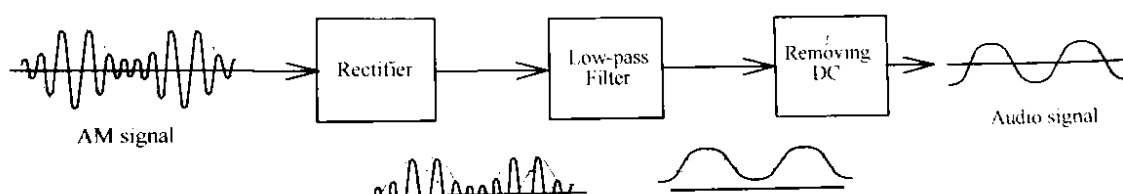


شکل ۴-۱. دمدولاسیون دامنه

۴-۱-۱ آشکارساز دیودی

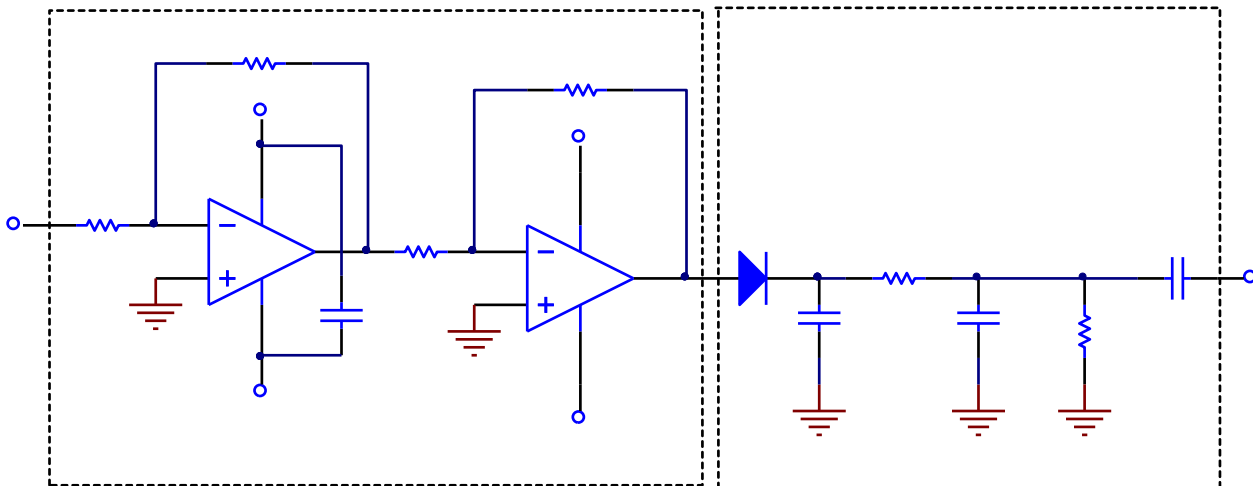
از آنجایی که سیگنال مدوله شده AM سیگنالی است که در آن دامنه سیگنال کریر با تغییر دامنه سیگنال مدوله کننده تغییر می کند، لذا یک دمدولاتور برای آشکارسازی سیگنال مدوله کننده اصلی از سیگنال AM مورد استفاده قرار می گیرد.

بلوک دیاگرام آشکارساز دیودی در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که یک آشکارساز آسنکرون می باشد. سیگنال مدوله شده AM که شامل سیگنال پوش نیمه مثبت و منفی می باشد به ورودی یکسوساز اعمال می شود. سیگنال خروجی یکسوساز، سیگنال پوش مثبت به علاوه یک سطح dc می باشد که به ورودی یک فیلتر پایین گذر اعمال می گردد و خروجی فیلتر سیگنال مدوله کننده اصلی با سطح dc می باشد. در نهایت سیگنال مدوله کننده با حذف سطح dc بازیابی می شود.



شکل ۴-۲. بلوک دیاگرام دمدولاتور یکسوساز

شکل ۳-۴ یک مدار آشکارساز دیودی عملی را نشان می‌دهد. قطعات R_1, R_2, R_3, R_4, U_1 و U_2 دو تقویت‌کننده معکوس‌کننده را تشکیل می‌دهند که به صورت سری به یکدیگر متصل شده و بهره مناسب را برای سیگنال AM تأمین می‌کنند. سیگنال AM تقویت شده توسط دیود D_1 یکسو شده و سپس به ورودی فیلتر پایین‌گذری که از قطعات C_2, C_3 و R_5 ساخته شده است، اعمال می‌شود. سیگنال خروجی فیلتر پایین‌گذر پوش نیمه مثبت به همراه یک سطح dc می‌باشد. خازن C_4 برای حذف سطح dc مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۳-۴. مدار آشکارساز دیودی

۲-۱-۴ آشکار ساز حاصل ضربی

عمل دمدمولاسیون سیگنال AM را می‌توان توسط مدولاتور متعادل که در درس قبل معرفی شد، پیاده سازی کرد. چنین دمدمولاتوری آشکارساز سنکرون یا آشکارساز حاصل ضربی نامیده می‌شود. اگر $X_{AM}(f)$ سیگنال AM و $X_c(t)$ سیگنال کریر باشد آنگاه:

$$x_{AM}(t) = V_{DC}[1 + m\cos(2\pi f_m t)][V_c \cos(2\pi f_c t)] \quad (۱-۴)$$

$$x_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t) \quad (۲-۴)$$

اگر این دو سیگنال به ورودی‌های مدولاتور متعادل وصل شوند، آنگاه خروجی مدولاتور متعادل به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} x_{out}(t) &= kx_c(t) \times x_{AM}(t) \\ &= kV_{DC}V_c^2[1 + m\cos(2\pi f_m t)]\cos^2(2\pi f_c t) \\ &= \frac{kV_{DC}V_c^2}{2} + \frac{kV_{DC}V_c^2}{2}m\cos(2\pi f_m t) + \frac{kV_{DC}V_c^2}{2}[1 + m\cos(2\pi f_m t)]\cos[2(2\pi f_c t)] \quad (۳-۴) \end{aligned}$$

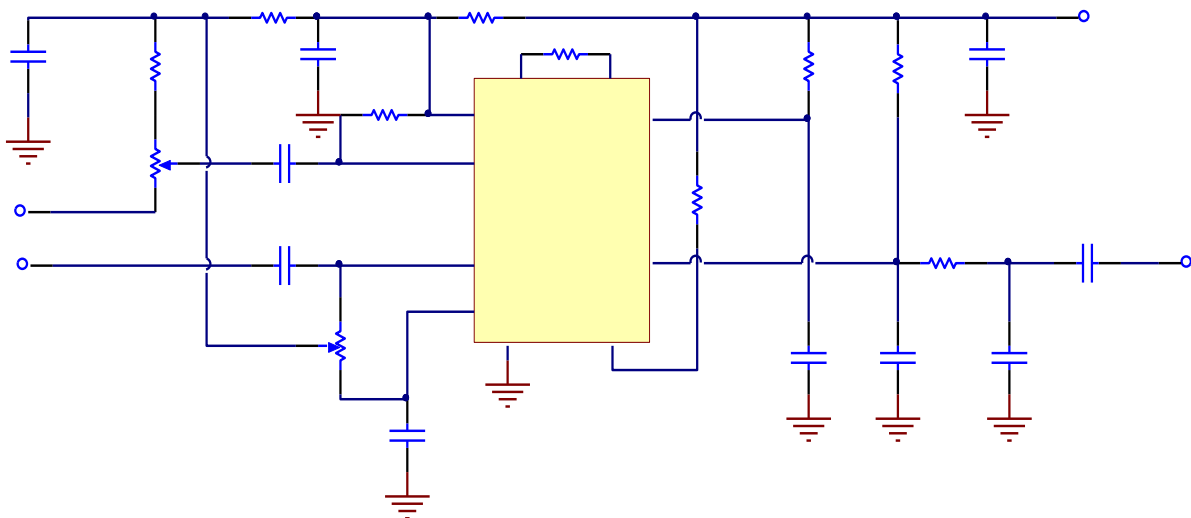
که k بهره مدولاتور متعادل می‌باشد. جمله اول در سمت راست رابطه ۳-۴ نشان دهنده سطح dc، جمله دوم سیگنال مدوله کننده و جمله سوم سیگنال هارمونیک مرتبه دوم می‌باشد. برای بازیابی سیگنال مدوله کننده، پیام باید از سیگنال AM (سیگنال $x_{out}(t)$) بازیابی شود.

شکل ۴-۴ مدار آشکارساز حاصل ضربی را نشان می‌دهد. پتانسیومتر VR_1 سطح ورودی سیگنال کریر را کنترل می‌کند. سیگنال خروجی از پایه ۱۲ آیسی MC1496 توسط رابطه ۴-۳ بیان شده است. فیلتر پایین‌گذر ساخته شده توسط C_7 و C_9 به حذف جمله سوم، که سیگنال هارمونیک مرتبه دوم می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. جمله اول در رابطه ۴-۳ سطح dc می‌باشد که توسط خازن قابل حذف شدن می‌باشد. سیگنال خروجی دمدوله شده دامنه به صورت زیر است:

$$x_{out}(t) = \frac{KV_{DC}V_c^2}{2} m \cos(2\pi f_m t) \quad (4-4)$$

رابطه ۴-۴ سیگنال پیام را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، آشکارساز حاصل ضربی سیگنال پیام را از سیگنال AM استخراج کرده است.

از بحث بالا می‌توان به این نتیجه رسید که آشکارساز دیودی یک آشکارساز آسنکرون بوده که دارای مدار ساده‌ای است اما از لحاظ کیفیت بد می‌باشد. آشکارساز حاصل ضربی یک آشکارساز سنکرون بوده که دارای کیفیت عالی بوده ولی دارای مدار پیچیده‌تری بوده و سیگنال کریر باید کاملاً با سیگنال AM سنکرون باشد.



شکل ۴-۴. مدار آشکارساز حاصل ضربی

۲-۴ تجهیزات مورد نیاز

۱. ماژول TC-99
۲. اسیلوسکوپ
۳. RF Generator

۳-۴ آزمایش ها

۱-۳-۴ آزمایش آشکارساز دیودی

۱. منبع سیگنال AM در این آزمایش خروجی مداری است که در درس سوم به آن پرداخته شد.
۲. سیگنال ورودی مدولاتور AM را برای سیگنال کریپر یک سیگنال سینوسی با دامنه $250\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 200 kHz و ورودی سیگنال پیام را یک سیگنال سینوسی با دامنه $150\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 3 kHz را انتخاب نمایید.
۳. با تغییر VR_1 در مدولاتور AM ماکزیمم دامنه سیگنال خروجی AM را ایجاد نمایید.
۴. خروجی سیگنال AM را به ورودی (I/P) آشکارساز دیودی متصل نمایید.
۵. کوپلینگ اسیلوسکوپ را بر روی DC قرار داده و شکل موج خروجی تقویت کننده و آشکارساز دیودی را مشاهده کرده و در جدول ۱-۴ یادداشت نمایید.
۶. فرکانس سیگنال پیام را به 2 kHz و 1 kHz تغییر داده و گام ۵ را تکرار نمایید.
۷. سیگنال کریپر را به یک سیگنال سینوسی با دامنه $250\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 300 kHz و سیگنال پیام را به یک سیگنال سینوسی با دامنه $250\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 3 kHz تغییر دهید.
۸. با تغییر VR_1 در مدولاتور AM ماکزیمم دامنه سیگنال خروجی AM را ایجاد نمایید.
۹. کوپلینگ اسیلوسکوپ را بر روی DC قرار داده و شکل موج خروجی تقویت کننده و آشکارساز دیودی را مشاهده کرده و در جدول ۲-۴ یادداشت نمایید.
۱۰. فرکانس سیگنال پیام را به 2 kHz و 1 kHz تغییر داده و گام ۹ را تکرار نمایید.

۴-۳-۲ آشکار ساز حاصل ضربی

۱. منبع سیگنال AM در این آزمایش خروجی مداری است که در درس سوم به آن پرداخته شد.
۲. سیگنال ورودی مدولاتور AM را برای سیگنال کریپر یک سیگنال سینوسی با دامنه $250\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 500 kHz و ورودی سیگنال پیام را یک سیگنال سینوسی با دامنه $150\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 3 kHz را انتخاب نمایید.
۳. با تغییر VR_1 در مدولاتور AM درصد مدولاسیون را بر روی 50% درصد تنظیم نمایید.
۴. خروجی مدولاتور AM را به ورودی سیگنال AM (I/P2) در آشکارساز حاصل ضربی اعمال کرده و سیگنال کریپر مشابه را به ورودی کریپر (I/P1) متصل نمایید.
۵. با قراردادن کوپلینگ اسیلوسکوپ بر روی DC، خروجی آشکارساز حاصل ضربی را مشاهده و در جدول ۴-۳ یادداشت نمایید.
۶. فرکانس سیگنال پیام را به 2 kHz و 1 kHz تغییر داده و گام 5 را تکرار نمایید.
۷. کریپر را به سینوسی با دامنه $250\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 1MHz و پیام را به سینوسی با دامنه $150\text{mV}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 2kHz تغییر دهید.
۸. با تغییر VR_1 در مدولاتور AM درصد مدولاسیون را بر روی 50% درصد تنظیم نمایید.
۹. با قراردادن کوپلینگ اسیلوسکوپ بر روی DC، خروجی آشکارساز حاصل ضربی را مشاهده و در جدول ۴-۴ یادداشت نمایید.
۱۰. فرکانس سیگنال کریپر را به 1.5 MHz و 2 MHz تغییر داده و گام 9 را تکرار نمایید.

($V_c = 250\text{ mV}_{\text{p-p}}$, $V_m = 150\text{ mV}_{\text{p-p}}$, $f_c = 200\text{ kHz}$)

فرکانس کریپر	شکل موج خروجی آشکارساز	شکل موج ورودی
3 kHz		
2 kHz		
1 kHz		

جدول ۴-۱

($V_c = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $V_m = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $f_c = 300 \text{ kHz}$)

فرکانس کریپر	شکل موج خروجی آشکارساز	شکل موج ورودی
3 kHz		
2 kHz		
1 kHz		

جدول ۲-۴

($V_c = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $V_m = 150 \text{ mV}_{p-p}$, $f_c = 500 \text{ kHz}$, $m = 50\%$)

فرکانس کریپر	شکل موج خروجی آشکارساز	شکل موج ورودی
3 kHz		
2 kHz		
1 kHz		

جدول ۳-۴

($V_c = 250 \text{ mV}_{p-p}$, $V_m = 150 \text{ mV}_{p-p}$, $f_m = 2 \text{ kHz}$, $m = 50\%$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی آشکارساز	فرکانس کریپر
		3 kHz
		2 kHz
		1 kHz

جدول ۴-۴

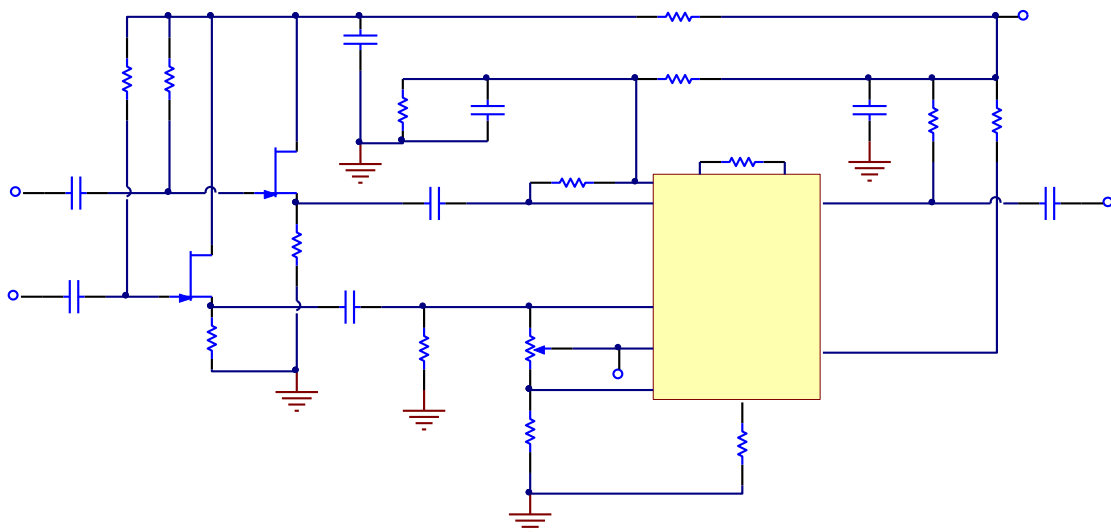
۵. آشنایی با سیگنال های مدولاتور

اهداف :

۱. آموزش نحوه تولید سیگنال های مدوله شده دوکنار باندی کریپر محذوف (Double-sideband Suppressed Carrier) و تک کنار باندی (Single-sideband).
۲. آموزش نحوه تست و تنظیم مدولاتورهای متعادل دوکنار باندی کریپر محذوف و تک کنار باندی.

۱-۵ تشریح اصول

اصول عملکرد مدارهای این درس شبیه درس ۳ می باشد. مدار شکل ۱-۵ مدار مدولاتور دوکنار باندی کریپر محذوف (double sideband suppressed carrier) یا به اختصار DSB-SC می باشد. مدار تعادل که توسط VR_1 ساخته شده است برای کنترل عملکرد LM1496 در وضعیت تعادل مورد استفاده قرار گرفته است. با تنظیم صحیح VR_1 می توان اطمینان حاصل نمود که مدولاتور در وضعیت متعادل کار می کند. تفاوت مهم بین سیگنال های مدوله شده AM و DSB-SC این است که سیگنال مدوله شده DSB-SC حاوی سیگنال کریپر نمی باشد. برای اطمینان از حذف سیگنال کریپر، بایستی ابتدا ورودی پیام را به زمین متصل کرده و خروجی LM1496 را مشاهده کرده و با تنظیم دقیق VR_1 مطمئن شویم که کریپر در خروجی ظاهر نشده است. بعد از اطمینان از نبود سیگنال کریپر در خروجی با اتصال سیگنال پیام به ورودی مورد نظر، سیگنال مدوله شده DSB-SC که حاوی سیگنال های کنار باندهای بالا و پایین می باشد در خروجی LM1496 ظاهر خواهد شد.



شکل ۱-۵. مدار مدولاتور DSB-SC

سطح ولتاژ سیگنال کریپر فاکتور بسیار مهمی می باشد که بر روی حذف کریپر تأثیر می گذارد. اگر سطح سیگنال کریپر خیلی پایین باشد، برای شروع تقویت سیگنال کریپر کافی نخواهد بود. در حالت کلی، محدوده ورودی بهینه زمانی که فرکانس کریپر 500 kHz است، $0.2 V_{p-p}$ تا $0.8 V_{p-p}$ می باشد.

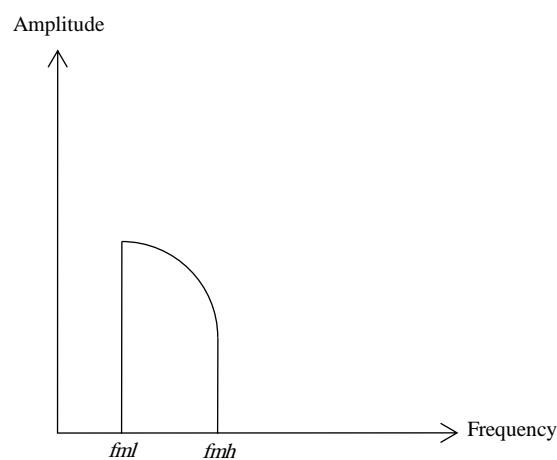
برای تشریح سیگنال‌های مدوله شده AM، DSB-SC یا SSB از یک سیگنال پیام با طیف نشان داده شده در شکل ۵-۲ الف استفاده می‌کنیم. مقدار بالاترین و پایین‌ترین فرکانس در سیگنال پیام می‌باشد. چنانچه این سیگنال پیام برای مدوله کردن دامنه کریر سینوسی مورد استفاده قرار گیرد، طیف AM خروجی به صورت شکل ۵-۲ ب خواهد بود. طیف AM شامل اجزای زیر می‌باشد:

۱. فرکانس کریر f_c

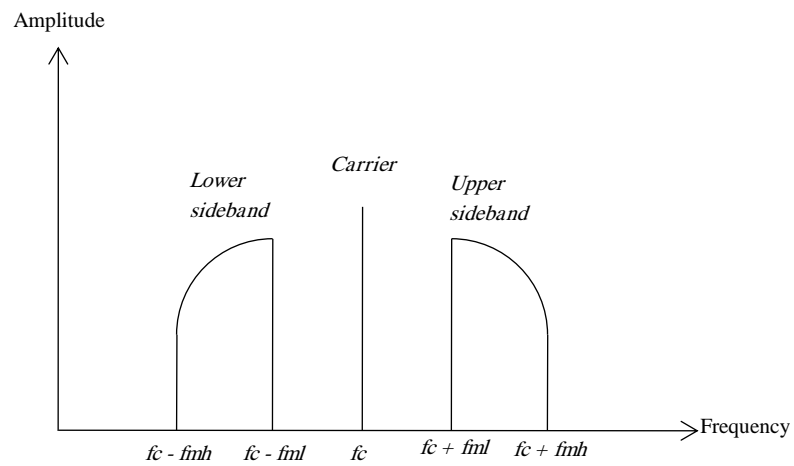
۲. کنار باند بالایی با بالاترین فرکانس $(f_c + f_{mh})$

۳. کنار باند پایینی با بالاترین فرکانس $(f_c - f_{mi})$

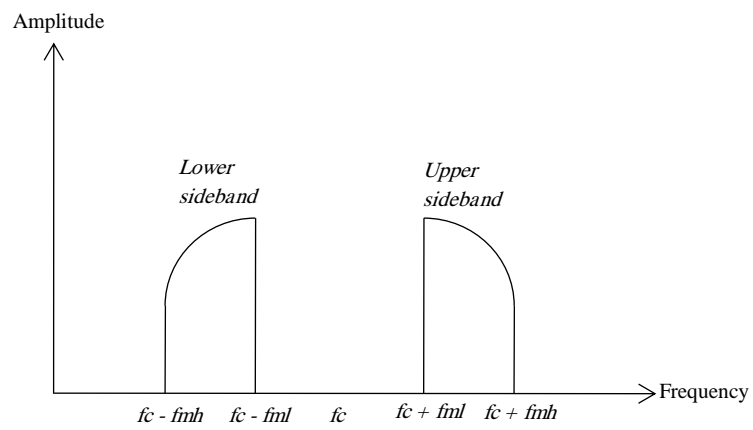
از آنجایی که سیگنال AM شامل هر دو کنار باند می‌باشد لذا گاهی سیگنال AM را AM دو کنار باندی می‌گویند. در مدولاسیون DSB-SC سیگنال کریر توسط مدولاتور متعادل حذف می‌شود. لذا طیف سیگنال مدوله شده به صورت نشان داده شده در شکل ۵-۲ پ خواهد بود. توجه کنید زمانی که سیگنال مدوله شده انتقال پیدا می‌کند، این دو کنار باند حاوی سیگنال پیام مشابهی می‌باشند، در حالی که گیرنده‌ها بسته به تکنیک‌های دمدولاسیون می‌توانند هر کدام از این دو سیگنال را بازیابی کنند. یعنی تنها یکی از کنار باندها برای فرایند ارسال مورد نیاز می‌باشد. این چنین مدولاسیونی، مدولاسیون تک کنار باندی (SSB) نامیده می‌شود که در شکل ۵-۱ ت نشان داده شده است.



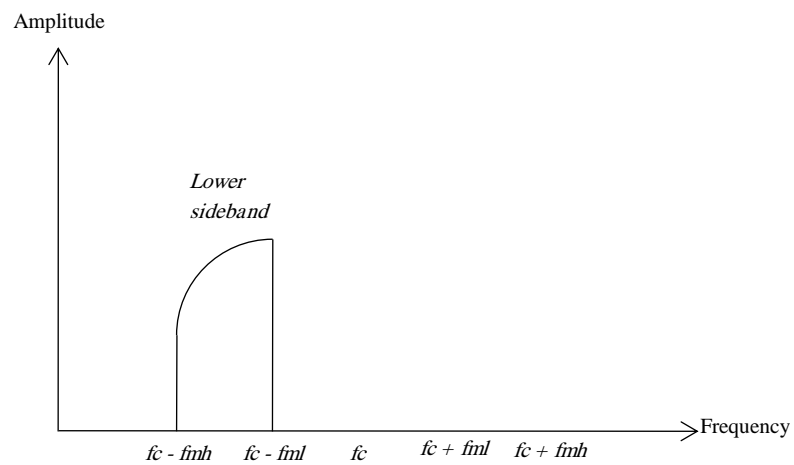
شکل ۵-۲ الف. طیف سیگنال پیام



شکل ۵-۲.ب. طیف سیگنال AM



شکل ۵-۲.پ. طیف سیگنال DSB-SC



شکل ۵-۲.ت. طیف سیگنال SSB

فرض کنید سیگنال پیامی که به پایه های ۱ و ۴ آرسی LM1496 اعمال می شود $A_m \cos(2\pi f_m t)$ و سیگنال کریبر که به پایه های ۸ و ۱۰ اعمال می شود $A_c \cos(2\pi f_c t)$ باشد، در اینصورت سیگنال خروجی در پایه ۶ باید به صورت زیر باشد:

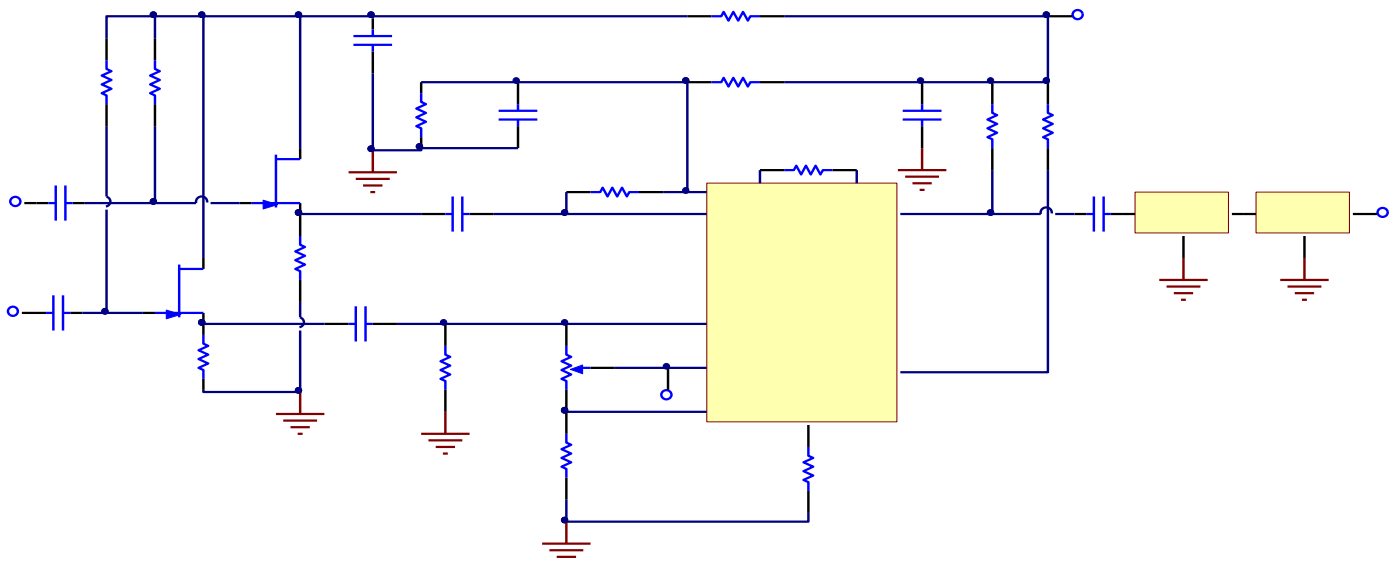
$$V_o(t) = k(A_m \cos 2\pi f_m t)(A_c \cos 2\pi f_c t)$$

$$= \frac{kA_m A_c}{2} [\cos(2\pi(f_m + f_c)t) + \cos(2\pi(f_m - f_c)t)] \quad (1-5)$$

که k بهره مدولاتور، $f_c + f_m$ و $f_c - f_m$ به ترتیب سیگنال مدوله شده کنار باند بالایی و پایینی می باشد.

در مدار شکل ۱-۵ ترکیب سورس فالوور که از ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 تشکیل شده است به علت داشتن مقاومت ورودی بالا و مقاومت خروجی کم به عنوان یک بافر عمل می کند. خازن های کوپلاژ C_1, C_2, C_4, C_5 و C_8 به منظور حذف سیگنال dc و عبور سیگنال ac مورد استفاده قرار گرفته اند. مقاومت R_{11} برای تنظیم بهره مدولاتور متعادل و مقاومت R_{12} برای تنظیم جریان بایاس می باشند. مقاومت های R_1, R_2, R_{13} و R_{14} بایاس dc مورد نیاز را فراهم می کنند. مقاومت های R_5 و R_{10} برای AGC می باشند. خازن های C_3, C_6 و C_7 برای بای پس کردن نویزهای غیر مطلوب می باشند. پتانسیومتر VR_1 برای تعادل، نقطه کاری بهینه، حداقل کردن اعوجاج و تعیین نوع سیگنال خروجی (مثلاً AM یا DSB-SC) می باشد.

برای ایجاد سیگنال مدوله شده SSB از سیگنال DSB-SC معمولاً یک فیلتر پایین گذر یا بالاگذر برای حذف یکی از کنار گذرها مورد استفاده قرار می گیرد. متأسفانه به علت نزدیک بودن دو کنار گذر به یکدیگر، ایجاد سیگنال SSB از سیگنال DSB-SC با فیلترهای بالاگذر یا پایین گذر مرتبه اول یا دوم بسیار دشوار می باشد. یک راه حل مناسب برای این کار استفاده از فیلترهای کریستالی یا سرامیکی می باشد. به عنوان مثال، در این آزمایش از فیلتر سرامیکی میان گذر FFD455 برای حذف سیگنال کنار گذر بالایی استفاده شده است.



شکل ۱-۵. مدار مدولاتور SSB

۲-۵ تجهیزات مورد نیاز

۱. مازول TC-97
۲. اسیلوسکوپ
۳. RF Generator
۴. Spectrum Analyzer

۳-۵ آزمایش

۱-۳-۵ آزمایش مدولاتور DSB-SC

۱. اتصالات J_1 ، J_3 ، J_5 و J_6 در بخش مدولاتور DSB-SC، را برقرار نمایید.
۲. ورودی سیگنال پیام (I/P2) را به زمین وصل کرده و یک سیگنال سینوسی با دامنه $500mV_{p-p}$ و فرکانس $500kHz$ را به ورودی کریپر (I/P1) متصل نمایید. ولوم VR_1 را به گونه‌ای تنظیم نمایید که سیگنال خروجی صفر و یا حداقل گردد.
۳. یک سیگنال سینوسی با دامنه $300mV_{p-p}$ و فرکانس $1kHz$ به ورودی پیام اعمال کرده و دامنه سیگنال کریپر را به $300mV_{p-p}$ تغییر دهید.
۴. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج‌های آمده در جدول ۱-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.
۵. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال‌های خروجی را مشاهده و در جدول ۱-۵ ثبت نمایید.
۶. دامنه سیگنال پیام را به $600mV_{p-p}$ تغییر دهید. شکل موج‌های آمده در جدول ۲-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.
۷. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال‌های خروجی را مشاهده و در جدول ۲-۵ ثبت نمایید.
۸. دامنه سیگنال کریپر را به $600mV_{p-p}$ تغییر دهید. شکل موج‌های آمده در جدول ۳-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.
۹. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال‌های خروجی را مشاهده و در جدول ۳-۵ ثبت نمایید.
۱۰. دامنه سیگنال پیام را به $300mV_{p-p}$ و فرکانس $2kHz$ و سیگنال کریپر را به $300mV_{p-p}$ و فرکانس $1MHz$ تغییر دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج‌های آمده در جدول ۴-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.
۱۱. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال‌های خروجی را مشاهده و در جدول ۴-۵ ثبت نمایید.
۱۲. با تغییر اتصالات J_1 به J_2 مقدار مقاومت $R_{11} = 270\Omega$ را به $R_{15} = 330\Omega$ تغییر دهید. دامنه سیگنال پیام را به $600mV_{p-p}$ و فرکانس آن را به $1kHz$ و دامنه سیگنال کریپر را به $600mV_{p-p}$ و فرکانس آن را به $500kHz$ تغییر دهید. وضعیت ولوم VR_1 را ثابت نگاه دارید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج‌های آمده در جدول ۵-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.
۱۳. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال‌های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۵ ثبت نمایید.
۱۴. با تغییر اتصالات J_3 به J_4 مقدار مقاومت $R_{12} = 6.8K\Omega$ را به $R_{16} = 10K\Omega$ تغییر دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج‌های آمده در جدول ۶-۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

۱۵. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۶ ثبت نمایید.

۵-۳-۲ آزمایش مدولاتور SSB

۱. اتصالات J_2 ، J_3 و J_4 در بخش مدولاتور SSB را برقرار نمایید.

۲. ولوم VR_1 را در مقدار میانی آن قرار دهید.

۳. ورودی سیگنال پیام (I/P2) را به زمین وصل کرده و یک سیگنال سینوسی با دامنه $500mV_{p-p}$ و فرکانس $457kHz$ را به ورودی کریبر (I/P1) متصل نمایید. ولوم VR_1 را به گونه ای تنظیم نمایید که سیگنال خروجی صفر و یا حداقل گردد. سپس اتصال J_2 را قطع کرده و اتصال J_1 را برقرار نمایید.

۴. یک سیگنال سینوسی با دامنه $300mV_{p-p}$ و فرکانس $2kHz$ را به ورودی پیام متصل کرده و دامنه کریبر را به $300mV_{p-p}$ تغییر دهید.

۵. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج های آمده در جدول ۵-۷ را اندازه گیری و ثبت نمایید.

۶. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۷ ثبت نمایید.

۷. دامنه سیگنال پیام را به $600mV_{p-p}$ تغییر دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج های آمده در جدول ۵-۸ را اندازه گیری و ثبت نمایید.

۸. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۸ ثبت نمایید.

۹. دامنه سیگنال کریبر را به $600mV_{p-p}$ تغییر دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج های آمده در جدول ۵-۹ را اندازه گیری و ثبت نمایید.

۱۰. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۹ ثبت نمایید.

۱۱. دامنه سیگنال پیام را به $300mV_{p-p}$ و فرکانس آن را به $1kHz$ و دامنه سیگنال کریبر را به $300mV_{p-p}$ تغییر دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ، شکل موج های آمده در جدول ۵-۱۰ را اندازه گیری و ثبت نمایید.

۱۲. با استفاده از Spectrum analyzer طیف سیگنال های خروجی را مشاهده و در جدول ۵-۱۰ ثبت نمایید.

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=300mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۱-۵

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۲-۵

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=600mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۳-۵

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=300mV_{p-p}$, $f_c=1MHz$, $f_m=2kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۴-۵

($R_{11}=330\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=600mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۵-۵

($R_{11}=330\Omega$, $R_{12}=10K\Omega$, $V_c=600mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۵-۶

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=300mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۵-۷

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۵-۸

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=600mV_{p-p}$, $V_m=600mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۹-۵

($R_{11}=270\Omega$, $R_{12}=6.8K\Omega$, $V_c=300mV_{p-p}$, $V_m=300mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=1kHz$)

	شکل موج کریبر
	شکل موج پیام
	شکل موج خروجی
	طیف خروجی

جدول ۵-۱۰

۶. آشنایی با سیگنال های دمولاتور

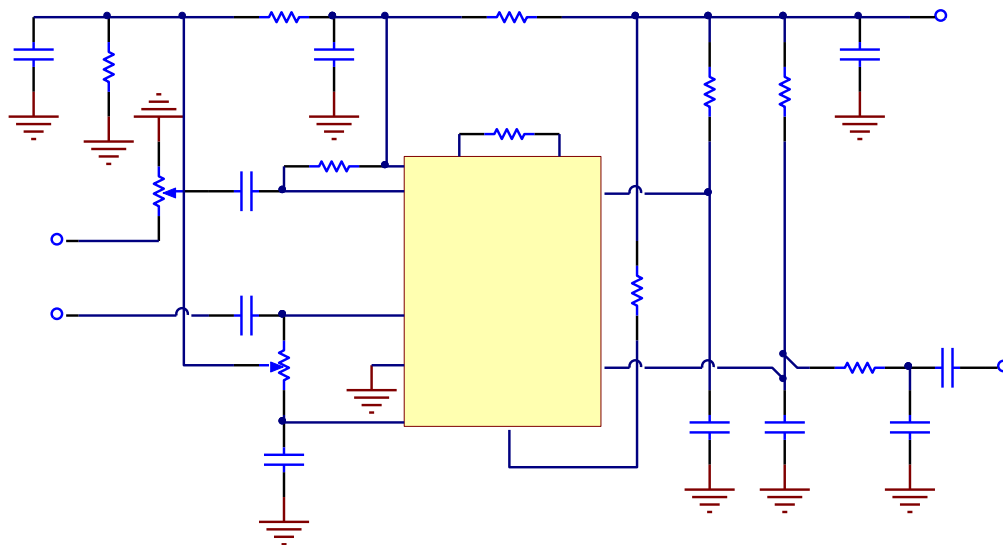
اهداف :

۱. دمدوله کردن سیگنال های DSB-SC و SSB با استفاده از آشکارساز ضربی

۲. آشنایی با نحوه استفاده از آشکارساز حاصلضربی در گیرنده های مخابراتی

۱-۶ تشریح اصول

شکل ۱-۶ مدار آشکارساز حاصلضربی برای دمدولاسیون DSB-SC یا SSB با استفاده از MC1496 را نشان می دهد. با انجام برخی تغییرات، این مدار می تواند به عنوان دمولاتور AM، FM یا PWM نیز مورد استفاده قرار گیرد. سیگنال کریپر محلی به ورودی ها (پایه های ۸ و ۱۰) اعمال می گردد و فرکانس این سیگنال باید دقیقاً مساوی با فرکانس کریپر DSB-SC یا SSB باشد. از آنجایی که دامنه سیگنال مدوله شده معمولاً در محدوده 500 mV_{pp} تا 800 mV_{pp} می باشد، لذا تنها کافی است اطمینان حاصل کنیم که آشکارساز در محدوده خطی خود کار می کند. مقاومت R_5 که بین پایه های ۲ و ۳ متصل شده است بهره ولتاژ MC1496 را تعیین می کند.



شکل ۱-۶. آشکارساز حاصلضربی برای سیگنال های DSB-SC و SSB

سیگنال های DSB-SC و SSB مورد نیاز برای آزمایش های ۱-۶ و ۲-۶ این درس، از خروجی مدولاتورهای DSB-SC و SSB درس ۵ تأمین شده است. همان طور که در درس ۵ اشاره شد، سیگنال مدوله شده SSB از حذف کنار گذر بالایی یا پایینی از سیگنال مدوله شده DSB-SC با استفاده از فیلتر بدست می آید. توجه کنید که چنانچه فیلتر به صورت مستقیم اضافه شود ممکن است موجب ایجاد اثر بارگذاری گردد. برای حذف این اثر پیشنهاد می گردد که مدار سورس فالوور شکل ۵-۱ بین خروجی فیلتر و ورودی آشکارساز حاصلضربی اضافه گردد. فرض کنید سیگنال مدوله شده SSB به ورودی LM1496 (پایه ۱ و ۴) متصل شده باشد، سیگنال SSB را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$x_{ssb}(t) = \frac{kA_m A_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

و سیگنال ورودی بین پایه های ۸ و ۱۰ به صورت زیر باشد:

$$x_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

بنابراین سیگنال خروجی LM1496 در پایه ۱۲ به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} x_o(t) &= kx_{ssb}(t) \times x_c(t) \\ &= \frac{k^2 A_m A_c^2}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t \times \cos \omega_c t \\ &= \frac{k^2 A_m A_c^2}{4} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t] \end{aligned}$$

زمانی که این سیگنال از فیلتر پایین گذر ساخته شده با C_7 ، C_9 و R_9 عبور می کند، قسمت های فرکانس بالا حذف می شوند و سیگنال خروجی دمدوله شده بصورت زیر خواهد بود:

$$x_o(t) = \frac{k^2 A_m A_c^2}{4} \cos \omega_m t$$

از رابطه بالا می توان دریافت که LM1496 می تواند سیگنال مدوله شده SSB را، برای بازیابی سیگنال پیام $A_m \cos \omega_m t$ بهره $\frac{(kA_c)^2}{4}$ دمدوله نماید. برای تغییر بهره دمدولاتور می توان دامنه سیگنال کریبر یا مقاومت R_5 (مقدار K) را تغییر داد. فرض کنید سیگنال مدوله شده DSB-SC به صورت زیر به ترمینال های ورودی LM1496 (پایه های ۱ و ۴) اعمال شده باشد:

$$x_{DSB-SC}(t) = \frac{kA_m A_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

و سیگنال ورودی کریبر (پایه های ۸ و ۱۰) به صورت زیر باشد:

$$x_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

در این صورت سیگنال خروجی LM1496 در پایه ۱۲ به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} x_o(t) &= kx_{DSB-SC}(t) \times x_c(t) \\ &= \frac{k^2 A_m A_c^2}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \times \cos \omega_c t \\ &= \frac{k^2 A_m A_c^2}{4} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos(2\omega_c - \omega_m)t + 2\cos \omega_m t] \end{aligned}$$

هنگامی که این سیگنال از یک فیلتر پایین گذر (C_7 ، C_9 و R_9) عبور کند، دو جمله اول فرکانس بالای سمت راست رابطه فوق حذف می گردد و سیگنال دمدوله شده خروجی به صورت زیر خواهد بود:

$$x_o(t) = \frac{k^2 A_m A_c^2}{2} \cos \omega_m t$$

۶-۶ تجهیزات مورد نیاز

۱. مازول TC-97

۲. اسیلوسکوپ

۳. RF Generator

۶-۷ آزمایش ها

۶-۷-۱ آزمایش آشکار ساز حاصل ضربی DSB-SC

۱. در این آزمایش از خروجی DSB-SC مدوله شده مدار مدولاتور DSB-SC آزمایش ۵-۱ به عنوان ورودی برای مدار آشکارساز حاصل ضربی استفاده می شود. ابتدا مدار مدولاتور DSB-SC را تکمیل نمایید.

۲. سیگنال سینوسی 500kHz ، $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ را به ورودی کریپر و سیگنال سینوسی 1kHz ، $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ را به ورودی پیام مدولاتور DSB-SC متصل نمایید. (سیگنال های پیام و کریپر بایستی به تنهایی و قبل از اتصال به مدار تنظیم شوند. زیرا اگر آن ها را در حال تست مدار تنظیم کنید خطای بارگذاری ظاهر خواهد شد.)

۳. ولوم VR_1 مدولاتور DSB-SC را به گونه ای بچرخانید که در خروجی سیگنال مدوله شده DSB-SC داشته باشید.

۴. اتصالات J_1 و J_3 در بخش آشکارساز حاصل ضربی DSB-SC و SSB را برقرار نمایید تا مقدار $R_5 = 270\Omega$ و $R_6 = 10\text{K}\Omega$ انتخاب شود.

۵. سیگنال کریپر بند ۲ را به ورودی کریپر آشکارساز حاصل ضرب و خروجی مدوله شده مدولاتور DSB-SC را به ورودی DSB-SC آشکارساز حاصل ضرب متصل نمایید.

۶. با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال خروجی را مشاهده نموده و با چرخش ولوم VR_1 مدار آشکارساز حاصل ضربی، اعوجاج خروجی را به حداقل رسانده و نتایج را در جدول ۶-۱ ثبت نمایید.

۷. سیگنال کریپر را به یک سینوسی 500kHz ، $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ و سیگنال پیام را به یک سینوسی 3kHz ، $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ تغییر دهید. ولوم VR_1 را با دقت بچرخانید تا سیگنال خروجی مدوله شده DSB-SC را دریافت نمایید.

۸. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۲ ثبت نمایید.

۹. اتصال J_1 را قطع و اتصال J_2 را وصل نمایید تا مقاومت $R_5(270\Omega)$ به مقدار $R_{10}(330\Omega)$ تغییر نماید. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۳ ثبت نمایید.

۱۰. اتصال J_3 را قطع و اتصال J_4 را وصل نمایید تا مقاومت $R_6(10\text{K}\Omega)$ به مقدار $R_{11}(30\text{K}\Omega)$ تغییر نماید. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۴ ثبت نمایید.

۶-۶-۱ آزمایش آشکار ساز حاصل ضربی SBB

۱. در این آزمایش از خروجی SSB مدوله شده مدار مدولاتور SSB آزمایش ۵-۲ به عنوان ورودی برای مدار آشکارساز حاصل ضربی استفاده می شود. ابتدا مدار مدولاتور SSB را تکمیل نمایید.

۲. با برقراری اتصال J_2 فیلترهای سرامیکی را بای پس نمایید. سیگنال سینوسی $500mV_{p-p}$ ، $457kHz$ را به ورودی کریبر (I/P_1) و سیگنال سینوسی $500mV_{p-p}$ ، $2kHz$ را به ورودی پیام (I/P_2) متصل نمایید. (سیگنال های پیام و کریبر بایستی به تنهایی و قبل از اتصال به مدار تنظیم شوند. زیرا اگر آن ها را در حال تست مدار تنظیم کنید خطای بارگذاری ظاهر خواهد شد.)

۳. ولوم VR_1 را به گونه ای بچرخانید که در خروجی (O/P) سیگنال مدوله شده DSB-SC داشته باشید. اتصال J_2 را قطع کرده و اتصال J_1 را برقرار نمایید تا فیلترهای سرامیکی در مدار قرار گیرند. سیگنال خروجی، سیگنال مدوله شده SSB خواهد بود.

۴. اتصالات J_1 و J_3 در بخش آشکارساز حاصل ضربی را برقرار کرده تا مقدار $R_5 = 270\Omega$ و $R_6 = 10 K\Omega$ گردد.

۵. سیگنال کریبر بند ۲ را به ورودی کریبر (I/P_1) آشکارساز حاصل ضرب و خروجی مدوله شده SSB را به ورودی SSB (I/P_2) متصل نمایید.

۶. با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج خروجی دمدوله شده (O/P) را مشاهده نموده و با چرخش دقیق ولوم VR_1 ، اعوجاج خروجی را به حداقل رسانده و نتایج را در جدول ۶-۵ ثبت نمایید.

۷. اتصال J_1 را قطع و اتصال J_2 را وصل نمایید تا فیلترهای سرامیکی مدولاتور SSB بای پس گردند. سیگنال کریبر را به یک سینوسی $457kHz$ ، $700mV_{p-p}$ و سیگنال پیام را به یک سینوسی $2kHz$ ، $700mV_{p-p}$ تغییر دهید. ولوم VR_1 را با دقت بچرخانید تا سیگنال خروجی مدوله شده DSB-SC را در خروجی داشته باشید. سپس اتصال J_2 را قطع کرده و اتصال J_1 را وصل نمایید تا فیلترهای سرامیکی در مدار قرار گیرند. سیگنال خروجی سیگنال مدوله شده SSB خواهد بود.

۸. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۶ ثبت نمایید.

۹. اتصال J_1 را قطع و اتصال J_2 را وصل نمایید تا مقاومت $R_5(270\Omega)$ به مقدار $R_{10}(330\Omega)$ تغییر نماید. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۷ ثبت نمایید.

۱۰. اتصال J_3 را قطع و اتصال J_4 را وصل نمایید تا مقاومت $R_6(10K\Omega)$ به مقدار $R_{11}(30K\Omega)$ تغییر نماید. گام ۶ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۶-۸ ثبت نمایید.

$(R_5=270\Omega, R_6=10K\Omega, V_c=500mV_{p-p}, V_m=500mV_{p-p}, f_c=500kHz, f_m=1kHz)$

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۶-۱

$(R_5=270\Omega, R_6=10K\Omega, V_c=500mV_{p-p}, V_m=500mV_{p-p}, f_c=500kHz, f_m=3kHz)$

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۲-۶

($R_5=330\Omega$, $R_6=10K\Omega$, $V_c=500mV_{p-p}$, $V_m=500mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۳-۶

($R_5=270\Omega$, $R_6=30K\Omega$, $V_c=500mV_{p-p}$, $V_m=500mV_{p-p}$, $f_c=500kHz$, $f_m=1kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۴-۶

($R_5=270\Omega$, $R_6=10K\Omega$, $V_c=500mV_{p-p}$, $V_m=500mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۵-۶

($R_5=270\Omega$, $R_6=10K\Omega$, $V_c=700mV_{p-p}$, $V_m=700mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۶-۶

($R_5=330\Omega$, $R_6=10K\Omega$, $V_c=500mV_{p-p}$, $V_m=500mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۷-۶

($R_5=330\Omega$, $R_6=30K\Omega$, $V_c=500mV_{p-p}$, $V_m=500mV_{p-p}$, $f_c=457kHz$, $f_m=2kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی

جدول ۶-۸

۷. آشنایی با مدولاسیون فرکانس FM

اهداف :

۱. مطالعه عملکرد و مشخصات دیود واریکتور
۲. فهم عملکرد اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ (VCO)
۳. پیاده‌سازی یک مدولاتور فرکانس با اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ

۱-۷ تشریح اصول

۱-۱-۷ اصول عملکرد مدولاسیون فرکانس

مدولاسیون فرکانس (FM) فرآیندی است که در آن فرکانس کریر با تغییرات دامنه سیگنال پیام تغییر می‌کند. سیگنال FM می‌تواند با معادله زیر بیان شود:

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \theta(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int x(\lambda) d\lambda]$$

اگر $x(\lambda) = A_m \cos(2\pi f_m \lambda)$ باشد، آنگاه:

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + \frac{f_\Delta A_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \right]$$

$$A_c \cos [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

که:

فرکانس مدوله شده لحظه ای $\theta(t)$

فرکانس کریر f_c

فرکانس سیگنال مدوله کننده f_m

$\beta = \left(\frac{f_\Delta}{f_m}\right) A_m$ = ضریب مدولاسیون

فرکانس سیگنال FM به صورت زیر بیان می‌شود:

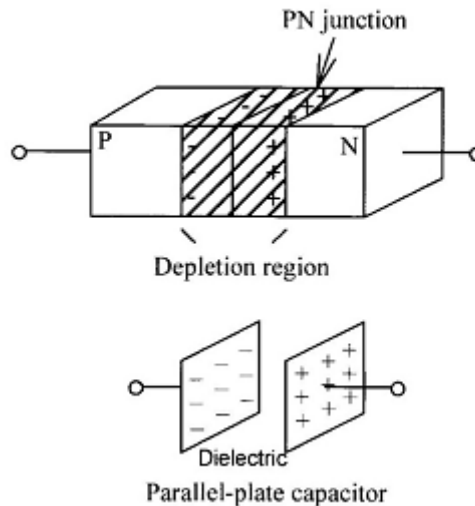
$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

$$= f_c - f_m \beta \cos(2\pi f_m t)$$

از معادله بالا می‌توان دریافت که فرکانس سیگنال مدوله شده فرکانس، توسط انحراف در فرکانس مرکزی (فرکانس کریر) بوسیله تغییر دامنه ی پیام به وجود آمده است.

۲-۱-۷ دیود واراكتور

دیود واراكتور، که بعضی اوقات دیود تیونینگ نامیده می شود، دیودیست که ظرفیتش متناسب با ولتاژ بایاس معکوس دو سر p-n تغییر می کند. با افزایش ولتاژ معکوس دو سر دیود، ظرفیت خازنی عرض ناحیه تخلیه که پهن تر شده کاهش می یابد. بالعکس وقتی ولتاژ بایاس معکوس کاهش می یابد، عرض ناحیه تخلیه باریکتر شده و ظرفیت خازنی افزایش می یابد. حال وقتی یک ولتاژ ac به دو سر دیود اعمال می شود ظرفیت خازنی دیود با تغییرات دامنه ولتاژ تغییر می کند.



شکل ۱-۷. رابطه بین دیود واراكتور و خازن

رابطه بین دیود واراكتور و خازن در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. دیود واراكتوری که به صورت معکوس بایاس شده است شبیه یک خازن عمل می کند.

وقتی یک نیمه هادی n و p با هم ترکیب می شوند، یک ناحیه تخلیه کوچک به علت انتشار حاملهای اقلیت شکل می گیرد. بارهای مثبت و منفی به ترتیب اطراف پیوند n و p را در بر می گیرند. این اتفاق شبیه یک خازن می باشد. مقدار ظرفیت خازنی پیوند p-n را می توان توسط فرمول زیر محاسبه نمود:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

که:

$$\epsilon = 11.8\epsilon_0 \quad (\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12})$$

A = سطح مقطع خازن

d = عرض ناحیه تخلیه

از فرمول بالا در می‌یابیم چنانچه A ثابت باشد، ظرفیت خازنی دیود و اراکتور رابطه معکوس با عرض ناحیه تخلیه دارد. بنابراین یک ولتاژ معکوس، یک ناحیه تخلیه کوچک و یک ظرفیت خازنی زیاد تولید خواهد کرد. به عبارت دیگر، یک افزایش در ولتاژ بایاس معکوس یک ناحیه تخلیه بزرگ و ظرفیت خازنی کوچک را نتیجه خواهد داد.



شکل ۷-۲. مدار معادل دیود و اراکتور

یک دیود و اراکتور را می‌توان به صورت یک خازن و یک مقاومت متصل شده به صورت سری در نظر گرفت. مدار معادل در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. خازن C_j ظرفیت خازن بین پیوند p و n می‌باشد. مقاومت R_s مجموع مقاومت بدنه و مقاومت اتصال می‌باشد که تقریباً برابر چند اهم می‌باشد و یک پارامتر مهم برای تعیین کیفیت دیود و اراکتور می‌باشد.

نسبت تیونینگ (TR) به صورت میزان ظرفیت خازنی دیود و اراکتور در ولتاژ معکوس V_2 به میزان ظرفیت خازنی آن در ولتاژ معکوس V_1 می‌باشد و می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$TR = \frac{C_{V2}}{C_{V1}}$$

که:

ضریب تیونینگ = TR

ظرفیت خازنی دیود و اراکتور در V_1 = C_{V1}

ظرفیت خازنی دیود و اراکتور در V_2 = C_{V2}

ما در آزمایش‌های خود از دیود و اراکتور 1SV55 استفاده می‌کنیم که مشخصات آن به صورت زیر می‌باشد.

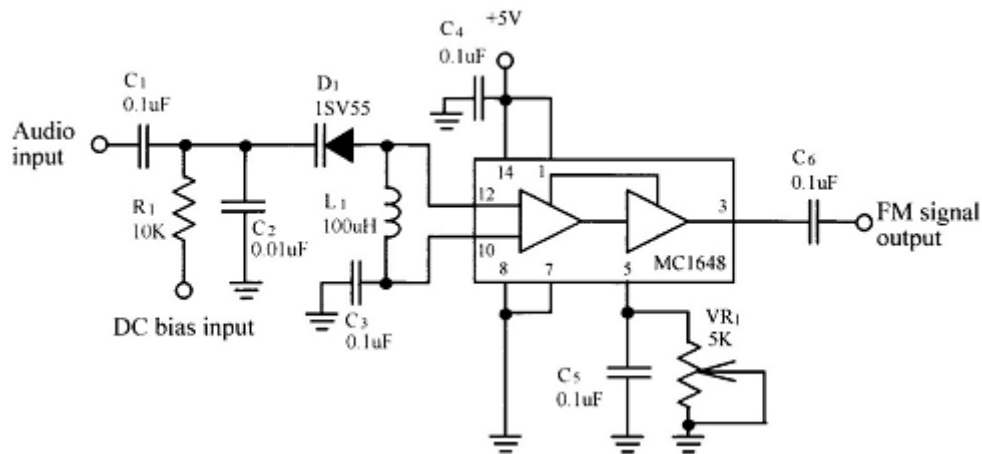
(ظرفیت خازنی دیود و اراکتور در 3V)

(ظرفیت دیود و اراکتور در ۳ ولت) $C_{3V} = 42 \text{ pf}$

(در ولتاژ ۳ تا ۳۰ ولت) $TR = 2.56$

۷-۱-۳ مدولاتور فرکانس بر مبنای MC1648 VCO

ما در آزمایش‌های خود مدولاتور فرکانس را با تراشه MC1648 VCO پیاده سازی خواهیم کرد که یک نمونه مدار عملی آن در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.

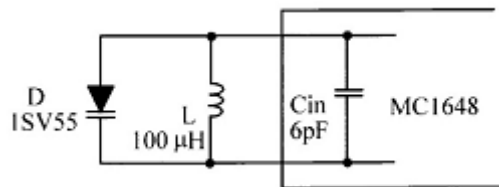


شکل ۷-۳. مدار مدولاتور MC1648

داخل این مدار خازن های C_2 و C_3 خازن های بای پس برای فیلتر کردن نویز می باشند. وقتی در یک فرکانس بالا کار می کنیم (برای مثال فرکانس 2.4MHz) راکتانس خازنی این دو خازن بسیار کوچک است و می توان در مدارهای عملی از آن چشم پوشی کرد. بنابراین، مدار معادل ac یک مدار تانک تیونینگ، که یک مدار رزونانس LC می باشد در شکل ۷-۴ نشان داده شده است. خازن C را می توان همان ظرفیت خازنی C_d (1S55) و ظرفیت خازنی ورودی MC1648 (C_{in}) که به صورت موازی قرار گرفته است در نظر گرفت. مقدار C_{in} تقریباً 6pf می باشد. اگر ما از ظرفیت خازنی نشستی چشم پوشی کنیم فرکانس نوسان را می توان از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_d + 6 \times 10^{-12})}} \text{ (Hz)}$$

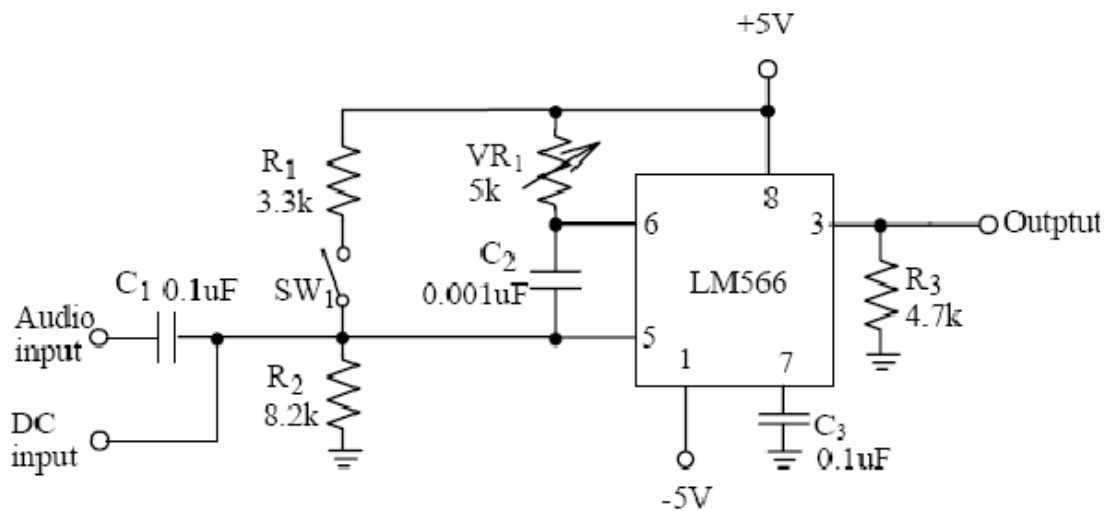
همانطور که در بالا اشاره شد، ظرفیت خازنی C_d دیود و اراکتور D_1 با مقدار ولتاژ بایاس معکوس آن تغییر خواهد کرد. بر اساس معادله، می دانیم که تغییر مقدار C_d موجب تغییر فرکانس نوسان خواهد شد. در مدار شکل ۷-۳ یک بایاس dc کوچک یک مقدار ظرفیت خازنی بزرگ C_d و یک فرکانس کوچک خروجی را تولید خواهد کرد. از طرف دیگر، یک افزایش در بایاس dc یک مقدار ظرفیت خازنی C_d کوچک و یک فرکانس بزرگ خروجی را نتیجه خواهد داد. بنابراین اگر بایاس dc ثابت باشد و یک سیگنال صوتی به ورودی اعمال شود سیگنال خروجی VCO یک سیگنال مدوله شده فرکانس خواهد بود.



شکل ۷-۴. مدار معادله ac تانک تیونینگ

۴-۱-۷ مدولاتور فرکانس بر مبنای LM566 VCO

مدار شکل ۵-۷ یک مدولاتور فرکانس بر مبنای تراشه LM566 VCO می باشد. اگر کلید SW1 باز باشد، این مدار یک VCO است که فرکانس خروجی آن توسط مقادیر C_3 ، VR_1 و ولتاژ ورودی صوت تعیین می شود. اگر مقادیر C_3 و VR_1 ثابت باشند، فرکانس خروجی مستقیماً با اختلاف ولتاژ بین پایه های ۸ و ۵ (V_8-V_5) متناسب است. به عبارت دیگر افزایش ولتاژ ورودی صوت باعث کاهش مقدار (V_8-V_5) و در نتیجه کاهش فرکانس خروجی می شود. برعکس، کاهش ولتاژ ورودی صوت باعث افزایش فرکانس خروجی می شود. همانطور که در بالا گفته شد، مقادیر VR_1 و C_3 تعیین کننده فرکانس خروجی می باشند. به اینصورت که فرکانس خروجی با حاصل ضرب $VR_1 \times C_3$ نسبت عکس دارد. یعنی $VR_1 \times C_3$ بزرگتر باعث ایجاد فرکانس خروجی کوچکتری می شود.



شکل ۵-۷. مدار مدولاتور فرکانس LM566

اگر کلید SW1 بسته شود، مقسم ولتاژی که توسط مقاومتهای R_1 و R_2 ساخته می شود یک سطح ولتاژ DC را در ورودی صوت (پین ۵) ایجاد می کند. با تنظیم VR_1 ، به آسانی می توان فرکانس مرکزی VCO (f_0) را تنظیم نمود. زمانی که سیگنال صوت به ورودی اعمال می شود، فرکانس خروجی متناسب با تغییرات دامنه پیام انحرافاتی را در اطراف f_0 ایجاد می کند. بنابراین یک سیگنال مدوله شده فرکانسی به دست می آید.

۲-۷ تجهیزات مورد نیاز

۱. ماژول TC-96
۲. اسیلوسکوپ

۳-۷ آزمایشها

۱-۳-۷ آزمایش اندازه گیری مشخصات MC1648

۱. مدار مدولاتور FM ساخته شده با آی سی MC1648 را از ماژول TC-96 انتخاب نمایید.

۲. اتصال J_2 در مدار فوق را برقرار کنید تا مقدار سلف برابر $L_1 = 100\mu\text{H}$ انتخاب گردد.

۳. خروجی منبع DC متغیر را به I/P_2 وصل کرده و مقدار ولتاژ اعمالی را برابر 3V_{DC} قرار دهید. با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج خروجی O/P را مشاهده نمایید. پتانسیومتر VR_1 را تنظیم کرده تا یک موج سینوسی در خروجی ظاهر شود و فرکانس موج خروجی را در جدول ۱-۷ ثبت کنید.

۳. مرحله ۲ را به ازای ولتاژهای نوشته شده در جدول ۱-۷ تکرار نمایید.

۴. با استفاده از نتایج جدول ۱-۷ منحنی فرکانس بر حسب ولتاژ را در شکل ۶-۷ رسم نمایید.

۲-۳-۷ آزمایش مدولاتور فرکانس MC1648

۱. اتصالات J_1 و J_2 را وصل کنید تا دیود و اراکتور 1SV55 در 5V و $L_1 = 100\mu\text{H}$ به صورت معکوس بایاس شود. تحت این شرایط فرکانس خروجی برابر فرکانس مرکزی f_0 خواهد بود.

۲. یک موج سینوسی با دامنه $2\text{V}_{\text{p-p}}$ و فرکانس 3kHz به ورودی پیام I/P1 اعمال کرده و شکل موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. ولوم VR_1 را تغییر دهید تا یک موج سینوسی در خروجی ظاهر شود.

۳. با استفاده از یک اسپکتروم آنالایزر خروجی مدار را مشاهده کرده و در جدول ۲-۷ ثبت کنید.

۴. گام ۳ را برای سیگنال‌های پیام با فرکانس‌های 5kHz و 8kHz تکرار نمایید.

با توجه به اینکه تفاوت فرکانس کریر و سیگنال‌های مدوله شده بسیار زیاد است تغییرات آشکاری در در حوزه زمان روی اسیلوسکوپ مشاهده می کنید. لذا توصیه می شود از اسپکتروم آنالایزر استفاده کنید.

۳-۳-۷ آزمایش اندازه گیری مشخصات LM566

۱. مدار مدولاتور ساخته شده با آیسی LM566 را از ماژول TC-96 انتخاب نمایید.

۲. اتصال J_3 را برقرار کرده تا مقدار خازن C_4 برابر 100nF انتخاب گردد.

۳. یک ولتاژ 3.6V_{dc} را به ورودی ولتاژ مستقیم (پین ۵) اعمال نمایید و پتانسیومتر VR_1 را تغییر داده تا یک سیگنال مربعی 2kHz در خروجی ظاهر شود. این فرکانس، فرکانس مرکزی f_0 می باشد.

۴. ولتاژ DC در پایه ۵ را به ترتیب به مقادیر 2.7V ، 3.0V ، 3.3V ، 3.9V و 4.2V و 4.5V تغییر دهید. فرکانس خروجی متناسب با ولتاژهای DC ورودی را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۳-۷ ثبت نمایید.

۵. با استفاده از نتایج جدول ۳-۷، منحنی فرکانس بر حسب ولتاژ را در شکل ۷-۷ رسم نمایید.

۶. اتصال J_3 را قطع کرده و اتصال J_2 را وصل نمایید. این تغییر باعث تغییر مقدار خازن C_4 (100nF) به C_3 (10nF) خواهد شد.

۷. یک ولتاژ 3.6V_{dc} را به ورودی ولتاژ مستقیم (پین ۵) اعمال نمایید و پتانسیومتر VR_1 را تغییر داده تا یک سیگنال 20kHz در خروجی ظاهر شود. این فرکانس، فرکانس مرکزی f_0 می باشد.

۸. ولتاژ DC در پایه ۵ را به ترتیب به مقادیر 2.7V, 3.0V, 3.3V, 3.9V, 4.2V و 4.5V تغییر دهید. فرکانس خروجی متناسب با ولتاژهای DC ورودی را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۴-۷ ثبت نمایید.

۹. با استفاده از نتایج جدول ۴-۷، منحنی فرکانس بر حسب ولتاژ را در شکل ۸-۷ رسم نمایید.

۴-۳-۷ آزمایش مدولاتور فرکانس با LM566

۱. مدار مدولاتور FM ساخته شده توسط LM566 را انتخاب نمایید. اتصال J_1 و J_2 را وصل نمایید تا خازن C_3 (10nF) انتخاب گردد. پتانسیومتر VR_1 را طوری تنظیم کرده تا فرکانس خروجی 20kHz گردد.

۲. یک موج سینوسی با دامنه 500 mV_{p-p} و فرکانس 1kHz را به ورودی پیام (I/P) اعمال نمایید. با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج خروجی (O/P) را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۵-۷ ثبت نمایید.

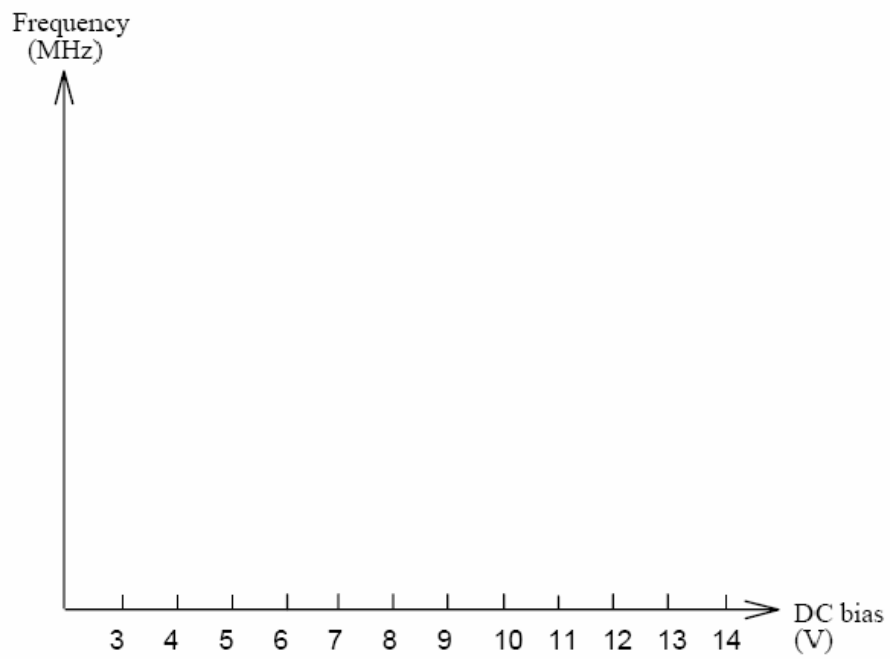
۳. فرکانس پیام را به ترتیب به 3kHz و 5kHz تغییر دهید. شکل موج های خروجی مربوط به هر کدام از ورودیها را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۵-۷ ثبت نمایید.

۴. ورودی پیام را به 1Vp-p و 1kHz سینوسی تغییر دهید. شکل موج خروجی را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۶-۷ ثبت نمایید.

۵. فرکانس پیام را به ترتیب به 3kHz و 5kHz تغییر دهید. شکل موج های خروجی مربوط به هر کدام از ورودیها را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۶-۷ ثبت نمایید.

جدول ۱-۷

ورودی بایاس DC (V)	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳
فرکانس خروجی (MHz)												



شکل ۶-۷

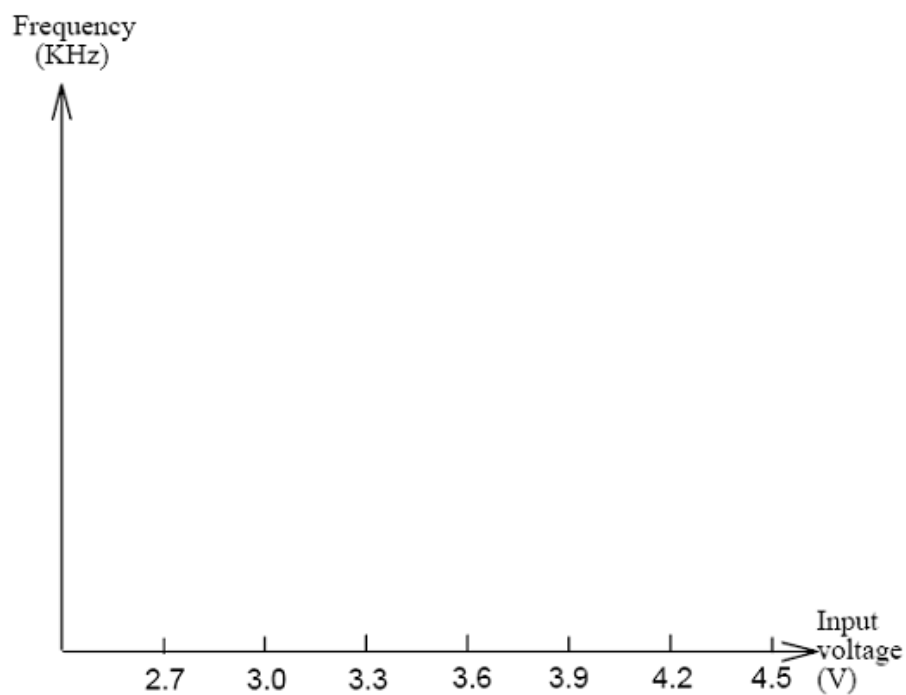
$V_m=1.5V_{p-p}$

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی با اسپکتروم	Input frequency
		3 kHz
		5 kHz
		8 kHz

جدول ۲-۷

2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	ورودی بایاس DC (V)
							فرکانس خروجی (kHz)

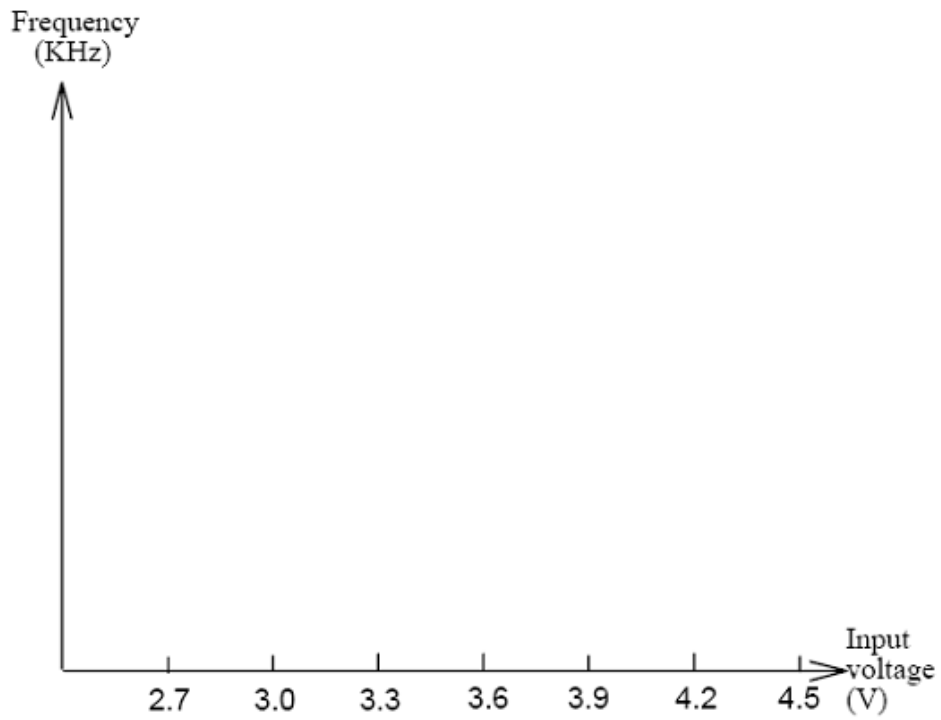
جدول ۳-۷ ($C_3 = 0.1\mu\text{F}$, $f_0 = 2\text{kHz}$)



شکل ۷-۷

2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	ورودی بایاس DC (V)
							فرکانس خروجی (kHz)

جدول ۴-۷ ($C_3 = 0.01\mu\text{F}$, $f_0 = 20\text{kHz}$)



شکل ۷-۸

($V_m=500V_{p-p}$, $C_3=0.01\mu F$, $f_o = 20kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی	Input frequency
		1 kHz
		3 kHz
		5 kHz

جدول ۷-۵

($V_m=1V_{p-p}$, $C_3=0.01\mu F$, $f_0=20kHz$)

شکل موج ورودی	شکل موج خروجی	Input frequency
		1 kHz
		3 kHz
		5 kHz

جدول ۶-۷

۸. آشنایی با دمدولاتور FM

اهداف :

۱. مطالعه اصول حلقه قفل فاز یا PLL

۲. بررسی مشخصات تراشه LM565

۳. دمدولاسیون سیگنال FM با استفاده از PLL

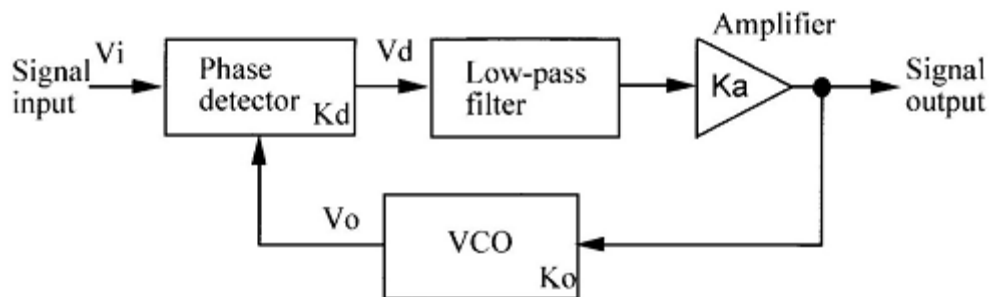
۴. دمدولاسیون سیگنال FM با استفاده از مبدل جدا کننده FM به AM

۱-۸ تشریح اصول

دمدولاتور FM، که جداکننده فرکانس نیز نامیده می شود، مداری است که تغییرات لحظه ای فرکانس را به تغییرات ولتاژ خطی تبدیل می کند. مدارات دمدولاتور متنوعی مانند مبدل FM به AM، جداساز متعادل، جداساز شیفت فاز و PLL در سیستمهای مخابراتی وجود دارد. در این آزمایش عملکرد دمدولاتور فرکانس PLL و جداساز مبدل FM به AM مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۱-۸ عملکرد PLL

حلقه قفل فاز یا PLL یک سیستم کنترل فیدبک الکترونیکی (که در شکل ۱-۸ به صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است) با قابلیت قفل کردن سیگنالهای ورودی و خروجی در فرکانس و فاز می باشد. در یک ارتباط رادیویی اگر فرکانس سیگنال کریپر دچار تغییر شود، مدار PLL گیرنده سیگنال حامل را به صورت اتوماتیک دنبال خواهد نمود.



شکل ۱-۸. بلوک دیاگرام PLL

در این آزمایش از PLL به دو شیوه مختلف استفاده شده است:

۱- به عنوان یک دمدولاتور، برای دنبال کردن فاز یا فرکانس مدولاسیون

۲- برای دنبال کردن سیگنال کریپر که ممکن است فرکانسش با زمان تغییر کرده باشد

به طور کلی یک مدار PLL شامل بخش های زیر می شود:

۱- آشکارساز فاز (PD)

۲- فیلتر پایین گذر (LPF)

۳- اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ (VCO)

آشکارساز فاز داخل PLL بر روی دو ورودی اش قفل شده و چنانچه فرکانس‌های دو ورودی یکسان باشد، مقدار خروجی را صفر می‌کند. اگر فرکانس‌های ورودی برابر نباشد، زمانی که سیگنال از فیلتر پایین گذر عبور می‌کند مولفه‌های ac حذف شده و تنها یک سطح DC به VCO اعمال می‌شود. این عمل باعث می‌شود تا حلقه فیدبک بسته شود. از این رو سطح DC اعمال شده به ورودی VCO فرکانس خروجی آن را تغییر می‌دهد و سعی خواهد کرد تا فرکانس خروجیش را با فرکانس ورودی اش برابر کند. اگر فرکانس خروجی VCO برابر فرکانس ورودی باشد، PLL قفل شده و ولتاژ کنترل تا زمانی که فرکانس ورودی PLL ثابت بماند صفر خواهد بود. پارامترهای مهم PLL همانطور که در شکل ۸-۱ نشان داده شده است به صورت زیر می‌باشد.

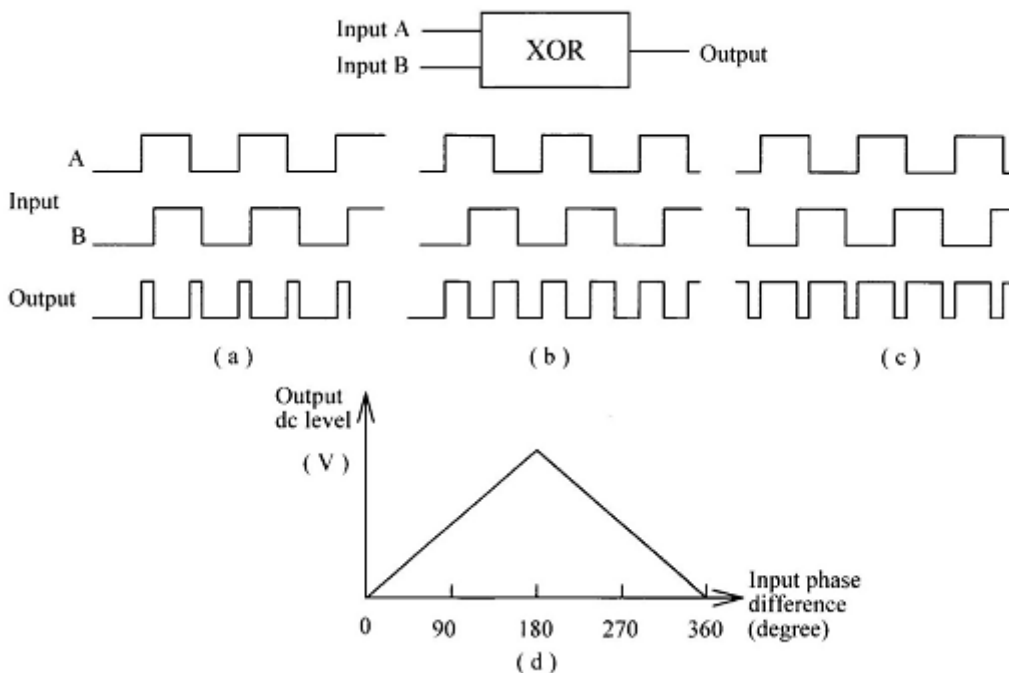
$$K_d = \text{بهره آشکارساز فاز (volt/rad)}$$

$$K_a = \text{بهره تقویت کننده (volt/volt)}$$

$$K_o = \text{بهره VCO بر حسب (kHz/volt)}$$

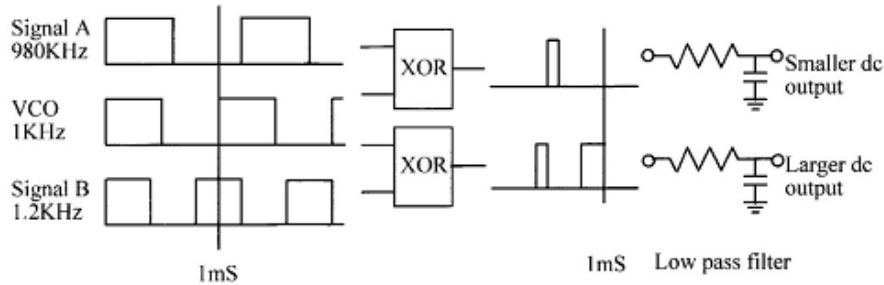
$$K_L = K_d K_a K_o = \text{بهره حلقه بسته (kHz/volt)}$$

برای فهم بهتر عملکرد آشکارساز فاز فرض کنید که یک گیت XOR به عنوان آشکارساز فاز استفاده شده است. گیت XOR می‌تواند به صورت یک آشکارساز نابرابری عمل کند، به این صورت که ورودی‌ها را مقایسه کرده و چنانچه ورودی‌ها با هم برابر نباشند یک پالس در خروجی تولید کند. پهنای پالس خروجی متناسب با اختلاف فاز سیگنال‌های ورودی می‌باشد. همانطور که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است، عرض پالس خروجی b از عرض پالس خروجی a بزرگتر و از عرض پالس خروجی c کوچکتر می‌باشد. زمانی که خروجی آشکارساز فاز به ورودی فیلتر پایین گذر اعمال می‌شود، خروجی فیلتر پایین گذر یک سطح DC خواهد بود که به طور مستقیم با عرض پالس متناسب می‌باشد. به عبارت دیگر، سطح DC خروجی متناسب با خطای فاز سیگنال‌های ورودی می‌باشد. شکل ۸-۲ (d) ارتباط بین خطای فاز ورودی و سطح DC خروجی را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲. آشکارساز فاز

برای فهم بهتر عملکرد PLL فرض کنیم در ابتدا PLL قفل نیست. ماژول VCO دارای ولتاژ ورودی ۲ ولت بوده و در فرکانس free running یعنی ۱ کیلو هرتز در حال کار می باشد. سیگنال نشان داده شده در شکل ۸-۳ را در نظر بگیرید.



شکل ۸-۳. شیوه قفل کردن فاز

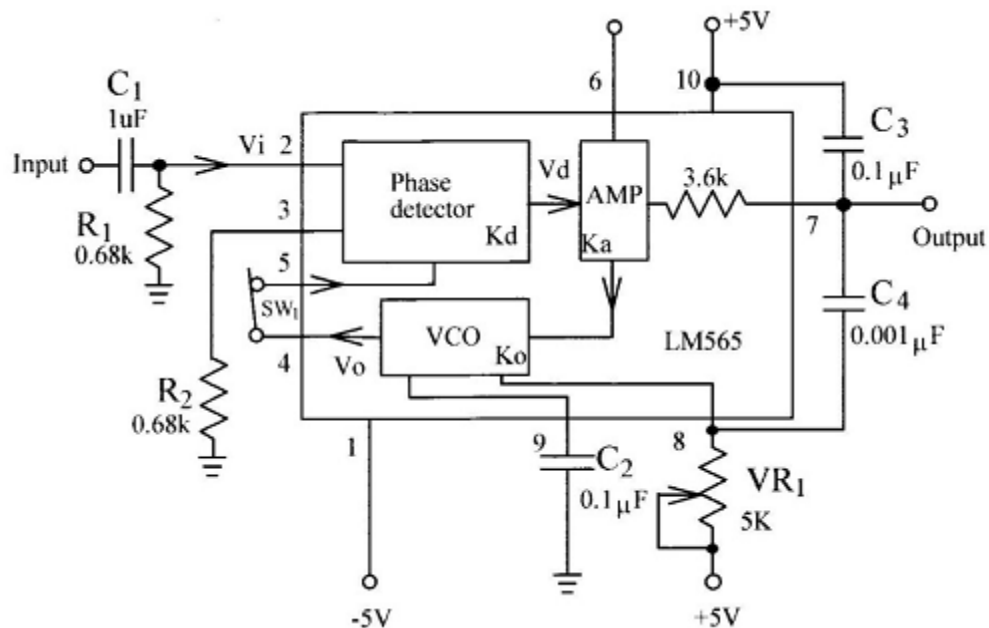
اگر فرکانس VCO و سیگنال A که فرکانسش کمتر از 980Hz است به ورودی آشکارساز فاز XOR اعمال شوند، پهنای باریکتر پالس خروجی باعث خواهد شد تا فیلتر پایین گذر ولتاژی کمتر از ۱ ولت در خروجی ایجاد نماید. این سطح ولتاژ کم باعث کاهش فرکانس VCO و نزدیک شدن به فرکانس ورودی می شود. اگر فرکانس خروجی VCO مشابه با فرکانس ورودی باشد عمل قفل PLL صورت خواهد گرفت. به عبارتی دیگر اگر فرکانس سیگنال B بیشتر از 1.2kHz شود در خروجی سطح ولتاژی بیشتر از 3V به وجود می آید و این سطح ولتاژ باعث افزایش فرکانس خروجی VCO می شود تا روی فرکانس ورودی قفل کند.

۲-۱-۸ مشخصات تراشه LM565

تراشه LM565 یک PLL همه منظوره می باشد که به طور وسیعی در دمدولاسیون فرکانس مورد استفاده قرار می گیرد. در طراحی با استفاده از تراشه LM565 پارامترهای زیر اهمیت زیادی دارند:

۱- فرکانس free running

شکل زیر مدار PLL با استفاده از تراشه LM565 را نشان می دهد.



شکل ۸-۴. LM565 PLL

در غیاب سیگنال ورودی فرکانس خروجی VCO فرکانس free running (f_0) نامیده می شود. در مدار شکل ۸-۴ فرکانس free running تراشه LM565 توسط المانهای VR_1 و C_2 تعیین می گردد که می توان این فرکانس را به وسیله فرمول زیر به دست آورد:

$$f_0 = \frac{1}{3.7VR_1C_2} \quad \text{فرکانس free running}$$

$$K_L = K_d K_a K_o = \frac{33.6f_0}{V_C} \quad \text{بهره حلقه بسته:}$$

که V_C برابر کل ولتاژ منبع تغذیه می باشد

$$V_{CC} - (-V_{CC}) = 5V - (-5V) = 10V$$

۲- محدوده قفل

در ابتدا فرض می کنیم PLL در حالت تقریباً قفل شده قرار دارد. در این حالت VCO در فرکانس مختلفی کار می کند. اگر فرکانس ورودی f_i دور از فرکانس VCO (f_0) باشد قفل شدن ممکن است اتفاق بیفتد. وقتی فرکانس ورودی (f_i) به فرکانس خاصی برسد (فرکانسی که PLL از حالت قفل در آید) اختلاف فرکانس های f_0 و f_i که یک بازه فرکانسی را تشکیل می دهد را محدوده قفل حلقه می نامیم.

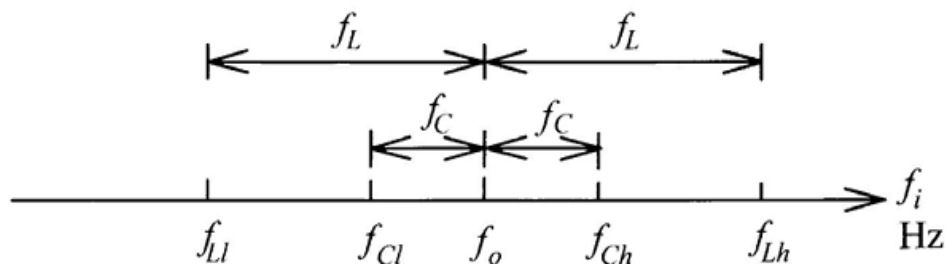
محدوده قفل برای تراشه LM565 به وسیله فرمول زیر به دست می آید:

$$f_L = \frac{8f_0}{V_C}$$

۳- محدوده کارکرد

در ابتدا فرض می کنیم حلقه قفل نشده است و VCO در فرکانس های مختلفی کار می کند. اگر فرکانس ورودی f_i به فرکانس VCO نزدیک شده باشد، حالت قفل نشدگی ادامه خواهد داشت. زمانی که فرکانس ورودی به فرکانس مخصوص برسد که PLL قفل شود، اختلاف فرکانس های f_0 و f_i که یک بازه فرکانسی را تشکیل می دهد را محدوده ضبط حلقه می گویند. محدوده ضبط برای تراشه LM565 از رابطه زیر به دست می آید:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi \times f_i}{3.6 \times 10^3 \times C_2}}$$



شکل ۸-۵. نمایش محدوده قفل و ضبط

۳-۱-۸ دمولاتور فرکانس با استفاده از تراشه LM565

مدار PLL نشان داده شده در شکل ۴-۸ را می توان به عنوان دمولاتور فرکانس استفاده کرد. زمانی که فرکانس سیگنال ورودی افزایش می یابد دامنه سیگنال خروجی متناسب با آن کاهش می یابد و برعکس اگر فرکانس سیگنال ورودی کاهش یابد دامنه سیگنال خروجی افزایش خواهد یافت.

مدار VCO تراشه LM565 معادل با مدار تراشه LM566 می باشد. فرکانس free running (f_0) توسط مقادیر المانهای خارجی C_2 و VR_1 تعیین می شود.

یک مقاومت داخلی به مقدار $3.6\text{ K}\Omega$ (بین ۷) به همراه خازن C_3 یک فیلتر پایین گذر را تشکیل می دهند. خازن C_4 خازن جبران کننده فرکانس نام دارد که بین پین های ۷ و ۸ متصل می شود.

۲-۸ تجهیزات مورد نیاز

۱. مازول TC-96
۲. اسیلوسکوپ

۳-۸ آزمایش

۱-۳-۸ آزمایش اندازه گیری LM565

۱. مدار LM565 PLL در مازول دمولاتور/دمولاتور FM را انتخاب نمایید. اتصال J_2 را برقرار نمایید تا خازن C_2 ($0.1\mu\text{F}$) انتخاب گردد.
۲. پتانسیومتر VR_1 را طوری تنظیم کنید که فرکانس free running ماکزیمم f_{oh} و فرکانس free running مینیمم f_{ol} را در خروجی آیسی LM565 (O/P) (بین ۴) داشته باشیم. نتایج را در جدول ۱-۸ ثبت کنید.
۳. پتانسیومتر VR_1 را طوری تنظیم کنید که فرکانس VCO free running برابر 2 kHz گردد.
۴. اتصال J_1 را برقرار نمایید. یک موج مربعی با دامنه 0.5V_{pp} و فرکانس 2 kHz به ورودی (I/P) اعمال نمایید.
۵. سیگنال های ورودی PLL (I/P) و خروجی VCO (بین ۴) را مشاهده کرده و فرکانس ورودی را به آرامی افزایش داده تا سیگنال خروجی از حالت قفل خارج شود. فرکانس ورودی را به عنوان f_{Lh} در جدول ۱-۸ ثبت کنید.
۶. فرکانس ورودی را به فرکانس free running مازول VCO برگردانید. فرکانس ورودی را به آرامی کاهش داده تا سیگنال خروجی از حالت قفل خارج شده و فرکانس ورودی را به عنوان f_{Ll} در جدول ۱-۸ ثبت نمایید.
۷. با استفاده از معادله زیر گستره قفل را محاسبه نمایید.

$$f_L = \frac{(f_{Lh} - f_{Ll})}{2}$$

۸. فرکانس ورودی را افزایش دهید تا VCO از حالت قفل خارج شود. فرکانس ورودی را به آرامی کاهش دهید تا PLL در حالت قفل قرار گیرد. فرکانس ورودی f_{Ch} را مشاهده و نتیجه را در جدول ۱-۸ ثبت نمایید.

۹. فرکانس ورودی را کاهش دهید تا خروجی VCO از حالت قفل خارج شود. فرکانس ورودی را به آرامی افزایش دهید تا PLL در حالت قفل قرار گیرد. فرکانس ورودی f_{CI} را مشاهده و نتیجه را در جدول ۸-۱ ثبت کنید.

۱۰. با استفاده از رابطه $f_c = \frac{(f_{ch} - f_{cl})}{2}$ محدوده ضبط را محاسبه نمایید.

۱۱. اتصال J_2 را قطع کرده و اتصال J_3 را برقرار نمایید. این تغییر مقدار خازن C_2 (0.1uF) را به C_5 (0.01uF) تغییر می دهد. گام ۲ را تکرار نمایید.

۱۲. ولوم VR_1 را بچرخانید تا فرکانس f_0 free running VCO به مقدار 20kHz برسد. اتصال J_1 را برقرار کرده و یک سیگنال مربعی $0.5V_{pp}$ با فرکانس 20kHz به ورودی (I/P) اعمال نمایید. گام های ۶ تا ۱۱ را تکرار نمایید.

۲-۳-۸ آزمایش اندازه گیری مشخصات ولتاژ فرکانس LM565

۱. مدار LM565 PLL در مازول مدولاتور/دمدولاتور FM را انتخاب نمایید. اتصال J_2 را برقرار نمایید تا خازن C_2 (0.1uF) انتخاب گردد.

۲. اتصال J_1 را قطع نمایید. پتانسیومتر VR_1 را طوری تنظیم کنید که فرکانس f_0 free running در خروجی VCO (بین ۴) به 2kHz برسد.

۳. اتصال J_1 را برقرار نمایید.

۴. یک موج مربعی با دامنه $0.5V_{pp}$ و فرکانس 2kHz به ورودی (I/P) اعمال نمایید. ولتاژ خروجی LM565 (O/P) را در جدول ۸-۲ ثبت نمایید.

۵. فرکانس ورودی را به مقادیر 0.5kHz, 1kHz, 1.5kHz, 2kHz, 2.5kHz, 3kHz و 3.5kHz تغییر دهید و ولتاژهای خروجی مطابق با فرکانس های ورودی را اندازه گیری کرده و نتایج را در جدول ۸-۲ ثبت کنید.

۶. منحنی ولتاژ بر حسب فرکانس ورودی را در شکل ۸-۶ رسم نمایید.

۷. اتصال J_2 را قطع و اتصال J_3 را وصل نمایید تا خازن C_2 (0.1uF) به C_5 (0.01uF) تغییر نماید.

۸. اتصال J_1 را قطع نمایید. پتانسیومتر VR_1 را طوری تنظیم کنید تا فرکانس f_0 free running در خروجی VCO (بین ۴) به 20kHz برسد.

۹. اتصال J_1 را برقرار نمایید.

۱۰. یک موج مربعی با فرکانس 20kHz و دامنه $0.5V_{pp}$ را به ورودی (I/P) اعمال نمایید. ولتاژ خروجی LM565 (O/P) را اندازه گیری کرده و در جدول ۸-۳ ثبت نمایید.

۱۱. فرکانس ورودی را به مقادیر 16.5kHz, 17.5kHz, 18.5kHz, 21.5kHz, 22.5kHz و 23.5kHz تغییر دهید و ولتاژهای خروجی مطابق با فرکانس های ورودی را اندازه گیری کرده و نتایج را در جدول ۸-۳ ثبت کنید.

۱۲. منحنی ولتاژ بر حسب فرکانس را در شکل ۸-۱۲ رسم نمایید.

۳-۳-۸ آزمایش دمولاتور فرکانس با PLL

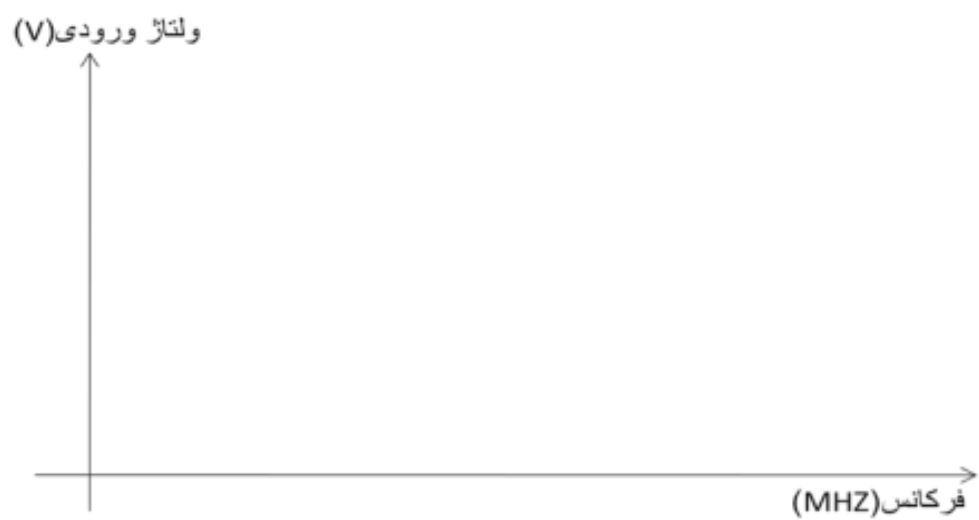
۱. مدار دمولاتور FM با آیسی LM566 در ماژول مدولاتور/دمولاتور FM را انتخاب نمایید. اتصال J_1 و J_2 را برقرار نمایید تا خازن C_3 (0.01uF) انتخاب شود. پتانسیومتر VR_1 را طوری تغییر دهید تا فرکانس f_0 free running خروجی به 20kHz برسد.
۲. با برقراری اتصال J_3 و انتخاب خازن C_5 (0.01uF) مدار LM565 PLL را تکمیل نمایید. ولوم VR_1 را طوری بچرخانید تا فرکانس free running f_0 در خروجی VCO (پین ۴) برابر 20kHz گردد.
۳. خروجی مدولاتور FM LM566 را به ورودی مدار LM565 PLL وصل نمایید و اتصال J_1 را برقرار نمایید.
۴. یک موج سینوسی با فرکانس 1kHz و دامنه $300mV_{pp}$ به ورودی مدولاتور FM ساخته شده با LM566 اعمال نمایید. با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج خروجی مدار PLL ساخته شده با LM565 را مشاهده کرده و نتیجه را در جدول ۸-۴ ثبت نمایید.
۵. گام ۴ را برای فرکانس های 2kHz و 3kHz تکرار نمایید.
۶. دامنه ورودی را به $500mV_{pp}$ تغییر دهید. مراحل ۴ و ۵ را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۸-۵ ثبت کنید.

محدوده فرکانسی free running		محدوده حالت قفل f_i		محدوده کارکرد f_c		C	f_0
f_{oh}	f_{ol}	f_{Lh}	f_{Ll}	f_{ch}	f_{cl}		2kHz
		$f_i =$		$f_c =$			

جدول ۸-۱

فرکانس ورودی (kHz)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	ولتاژ خروجی (V)

جدول ۸-۲

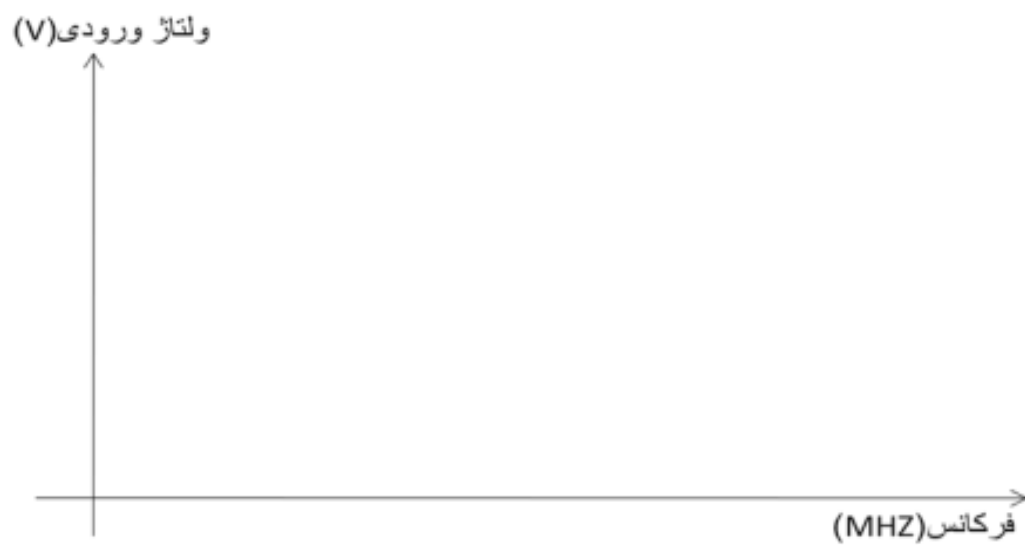


شکل ۸-۶

$$V_m = 0.5V_{pp}, f_o = 20\text{kHz}$$

16.5	17.5	18.5	20	21.5	22.5	23.5	فرکانس ورودی (kHz)
							ولتاژ خروجی (V)

جدول ۳-۸



شکل ۷-۸

$$V_m = 300mV_{pp}, f_o = 20kHz$$

فرکانس ورودی	شکل موج ورودی اولیه مدولاتور و خروجی دمدولاتور
1kHz	
2kHz	
3kHz	
4kHz	
5kHz	

جدول ۴-۸

$$V_m = 500mV_{pp}, f_o = 20kHz$$

فرکانس ورودی	شکل موج ورودی اولیه مدولاتور و خروجی دمدولاتور
1kHz	
2kHz	
3kHz	
4kHz	
5kHz	

جدول ۸-۵