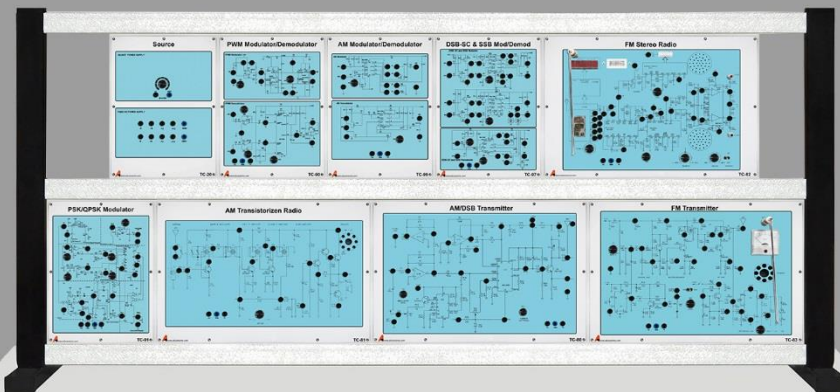


شرکت دانش بنیان

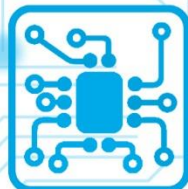
# تجهیزات ابزار آزما

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 (AE-100)**

**آموزنده مدارهای الکتریکی (AE-101)**

**آموزنده مدارهای الکتریکی (AE-100)**

**آموزنده مدارهای الکتریکی (AE-100)**

آزمایشگاه های الکترونیک و مخابرات

Electronics and Telecommunications Labs



اتصال به نرم افزار Matlab/Simulink

اتصال به نرم افزار Labview

دستورکار مدرس

اتصال به نرم افزار

تعداد کاربر

دستورکار دانشجو



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 (AI-92)
- آموزنده شیب ساز کنترل سطح (AI-90)
- آموزنده شیب ساز کنترل سطح (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 آنالوگ و سروو موتور (DC-102)
- آموزنده کنترل دیجیتال (DC-101)
- آموزنده کنترل دیجیتال (DC-101)
- آموزنده کنترل پیشرفته (RO-100)
- آموزنده کنترل پیشرفته (SI-100)
- آموزنده کنترل پیشرفته (IP-101)
- آموزنده کنترل پیشرفته (SB-100)

**تجهیزات صنعتی**

- 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)
- کنترل کننده PID (IM-40)
- سرعت سنج (IM-50)
- اندازه گیر فازور (IM-30)
- اندازه گیر سنکرون ساز اتوماتیک سه فاز (IM-22)
- حفاظت فرکانسی رله (IM-20)
- مولتی فانکشن متر سه فاز (IM-11)
- کنترل کننده PID (IM-40)
- سرعت سنج (IM-50)
- فاز کانس متر (IM-30)
- سنکرون ساز اتوماتیک سه فاز (IM-22)
- حفاظت فرکانسی رله (IM-20)
- مولتی فانکشن متر سه فاز (IM-11)

**ازمایشگاه های تاسیسات الکتریکی**

- کارگاه سیستم اعلام حریق (ET-116)
- کارگاه سیستم اعلام حریق (ET-115)
- کارگاه دوربین مدار بسته (ET-112)
- کارگاه صوتی و تصویری (ET-111)
- کارگاه سیستم آنتن مرکزی (ET-110)
- کارگاه سیستم تلفن (ET-109)
- کارگاه سیستم اعلام حریق (ET-116)
- کارگاه سیستم اعلام حریق (ET-115)
- کارگاه دوربین مدار بسته (ET-112)
- کارگاه صوتی و تصویری (ET-111)
- کارگاه سیستم آنتن مرکزی (ET-110)
- کارگاه سیستم تلفن (ET-109)
- آموزنده خانه هوشمند پیشرفته (SH-101)
- آموزنده خانه هوشمند پایه (SH-100)
- کارگاه ساختمان هوشمند
- آموزنده تاسیسات الکتریکی (WW-102)
- آموزنده سرکابل و مفصل (WW-101)
- کارگاه تاسیسات الکتریکی
- آموزنده مدار فرمان (CO-100)
- آموزنده خانگی و صنعتی برق (EW-101)
- آموزنده کارگاه برق خانگی (EW-100)
- کارگاه برق
- آموزنده ماشین های الکتریکی AC مدل گسترده (MC-112)
- آموزنده ماشین های الکتریکی DC مدل گسترده (MC-111)
- آموزنده کارگاه سیم پیچ (WW-100)
- کارگاه سیم پیچ

**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 می‌گیرد. دستور کار مخابرات آنالوگ، روش‌های مدولاسیون آنالوگ از قبیل AM، SSB، DSB-SC، و FM بر مبنای تراشه‌های کاربردی و منطبق با سر فصل درس مدارهای مخابراتی پیاده‌سازی شده‌اند.

### 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 می‌باشد. این دستور کار طوری طرح شده است تا دانشجو حین انجام مراحل مختلف آزمایش، بخش‌های مختلف آن را تکمیل نماید و با تحلیل نتایج حاصل به درک عمیق‌تری 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 می‌بایست 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 آزمایش‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر درک سیستم مخابرات آنالوگ دارد. مسلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی‌هایی است که با پیشنهادات شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه‌های 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
۶۹.....	آزمایش.....	۳-۸
۶۹.....	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
۷۵.....	آشنایی با سنتز کننده فرکانسی.....	۹
۷۵.....	تشریح اصول.....	۱-۹
۷۶.....	انواع سنتز کننده فرکانسی.....	۱-۱-۹
۸۰.....	تجهیزات مورد نیاز.....	۲-۹
۸۱.....	آزمایش ها.....	۳-۹
۸۱.....	آزمایش سنتز کننده فرکانسی استاندارد.....	۱-۳-۹
۸۲.....	آزمایش سنتز کننده فرکانسی با مقسم.....	۱-۱-۲
۸۲.....	آزمایش سنتز کننده فرکانسی با مبدل فرکانسی.....	۲-۳-۹



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

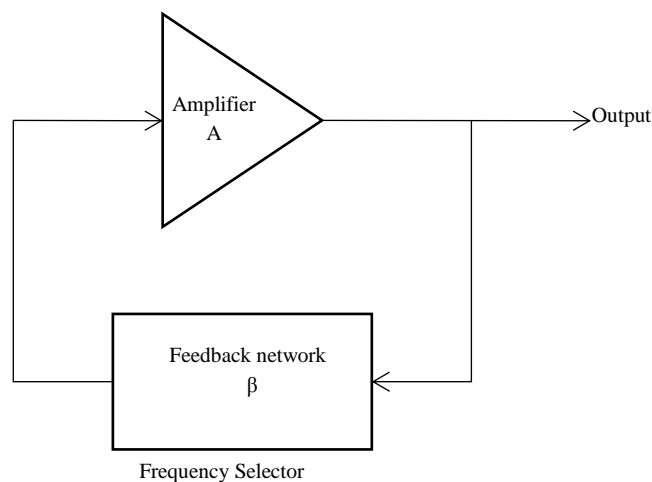
اسیلاتور به زبان ساده یک مولد سیگنال می‌باشد که ولتاژ DC تغذیه خود را بدون هیچگونه سیگنال ورودی به یک سیگنال خروجی AC تبدیل می‌کند. اسیلاتورها در سیستم‌های ارتباطی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. اسیلاتور سیگنال کریبر (carrier) یا سیگنال نوسان محلی را که در سیستم‌های ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد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

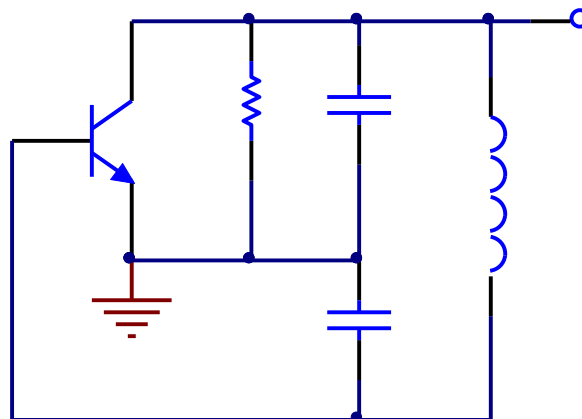
اسیلاتورهای ترانزیستوری در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته اند. یک تقویت کننده ترانزیستوری با مشخصه ic-vbe غیرخطی به عنوان محدود کننده دامنه عمل می کند. یک اسیلاتور با عملکرد محدود کنندگی زمانی که بهره حلقه آن برابر ۱ باشد، اسیلاتور خود محدود کننده (self-limiting oscillator) نامیده می شود. بنابراین 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  $C_1/C_2$  و مقدار بهره ولتاژ تقویت کننده  $g_m R$  می باشد. با توجه به رابطه ۱-۱:

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

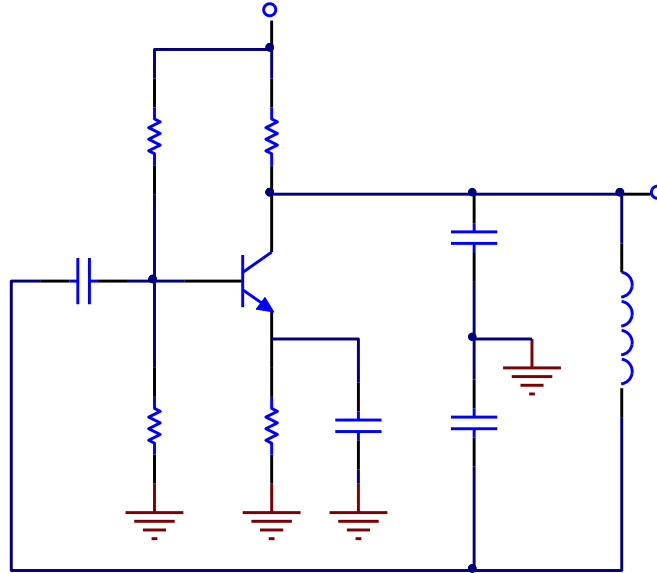
بدست می آید:

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

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

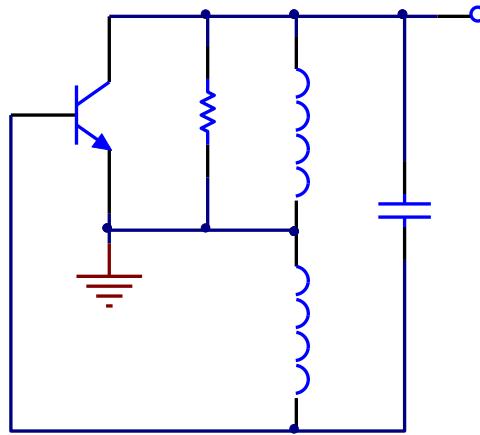
مدار معادل ac اسیلاتور هارتلی، که مشابه با اسیلاتور کولپیتس می‌باشد، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. تانک تشدید LC موازی بین بیس و کلکتور ترانزیستور متصل شده است. سلف‌های L1 و L2 جایگزین دو خازن شده است. مقاومت R نشان‌دهنده مجموع مقاومت‌های خروجی ترانزیستور، مقاومت بار و مقاومت معادل سلف‌ها و خازن می‌باشد.

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

(۴-۱)

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





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:

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

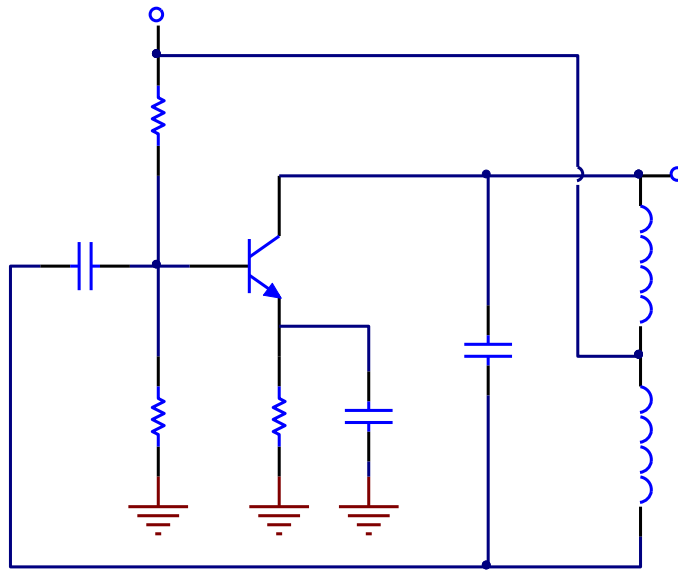
بدست می آید:

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

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  $100 \text{ pF}$  و  $C5=100 \text{ pF}$  و  $C4$  به  $1000 \text{ pF}$  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.

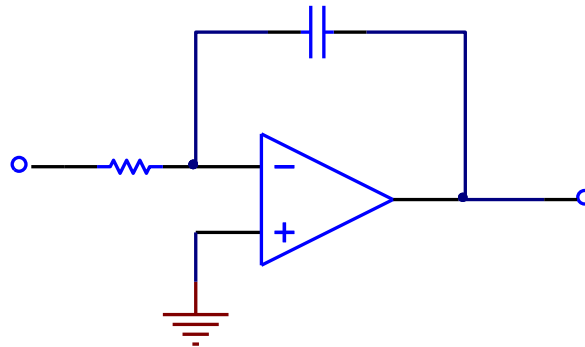
### ۱-۱-۲ فیلتر پایین‌گذر مرتبه دوم

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:

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

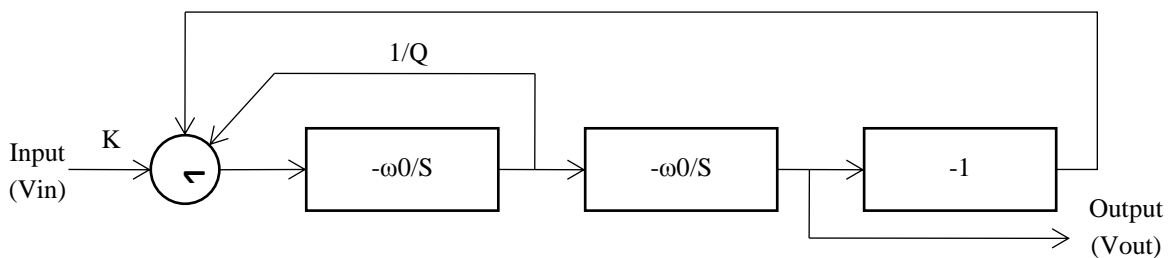
که در آن

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



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:

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

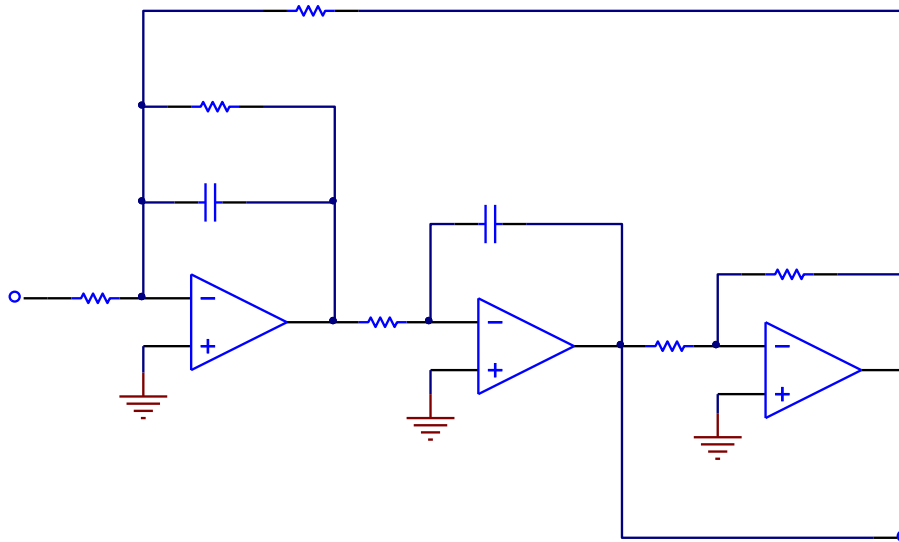
با پیروی از این بلوک دیاگرام، به مدار عملی یک فیلتر پایین گذر مرتبه دوم می رسیم که در شکل ۳-۲ نشان داده است. در این مدار تقویت کننده عملیاتی U1:A هم به عنوان جمع کننده و هم به عنوان اولین انتگرالگیر میلر عمل می کند. با فرض  $C_1 = C_2 = C$  و  $R_6 = R_5 = R_4 = R$  و حل معادله ۲-۲ خواهیم داشت:

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

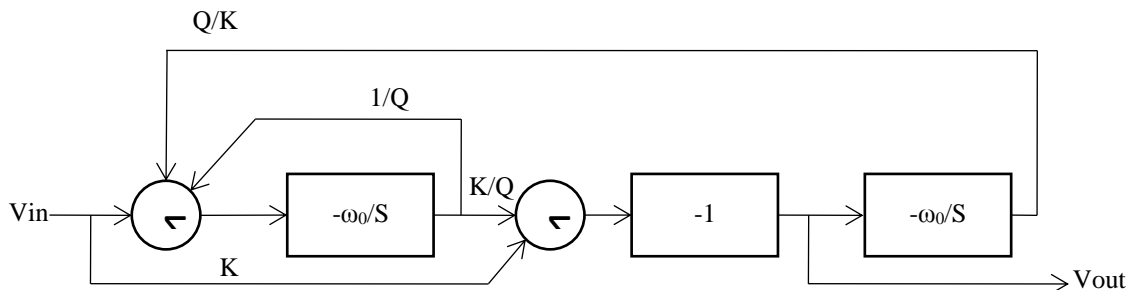
$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_3R_4}} \quad (4-2)$$

$$Q = \frac{R_2}{\sqrt{R_3R_4}} \quad (5-2)$$

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

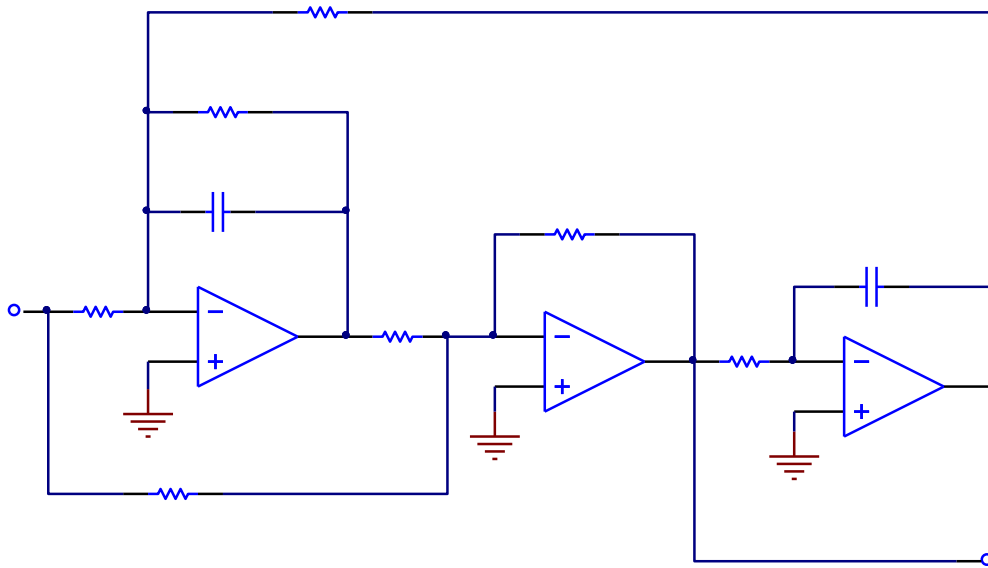
### ۲-۱-۲ فیلتر بالاگذر مرتبه دوم

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:

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

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،  $U_1:A$  به عنوان اولین انتگرالگیر میلر و اولین جمع کننده عمل می کند.  $U_1:B$  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:

$$K = \frac{R_5}{R_2} \quad (۷-۲)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_4 R_5}} \quad (۸-۲)$$

$$Q = \frac{R_3}{\sqrt{R_4 R_5}} \quad (۹-۲)$$

در مدار شکل ۲-۵ قطعات  $R_1, R_3, R_7, C_1$  و  $U_1:A$  به عنوان اولین انتگرالگیر میلر با عملکرد جمع کننده وزن دار عمل می کنند. جمع کننده برای جمع کردن سیگنال ورودی با سیگنال خروجی  $U_1:C$  مورد استفاده قرار گرفته است. جمع کننده دوم از قطعات  $R_2, R_4, R_5$  و  $U_1:B$  تشکیل شده و برای جمع کردن سیگنال ورودی با خروجی  $U_1:A$  مورد استفاده قرار گرفته است. قطعات  $R_6, C_2$  و  $U_1:C$  دومین انتگرالگیر میلر 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  $100 \text{ Hz}$ ،  $1 \text{ kHz}$ ،  $2 \text{ kHz}$ ،  $5 \text{ kHz}$ ،  $8 \text{ kHz}$ ،  $10 \text{ kHz}$ ،  $20 \text{ kHz}$ ،  $50 \text{ kHz}$  و  $100 \text{ kHz}$  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  $10 \text{ Hz}$ ،  $100 \text{ Hz}$ ،  $200 \text{ Hz}$ ،  $500 \text{ Hz}$ ،  $800 \text{ Hz}$ ،  $1 \text{ kHz}$ ،  $2 \text{ kHz}$ ،  $5 \text{ kHz}$ ،  $10 \text{ kHz}$  و  $100 \text{ kHz}$  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  $100 \text{ Hz}$ ،  $1 \text{ kHz}$ ،  $2 \text{ kHz}$ ،  $5 \text{ kHz}$ ،  $8 \text{ kHz}$ ،  $10 \text{ kHz}$ ،  $20 \text{ kHz}$ ،  $50 \text{ kHz}$  و  $100 \text{ kHz}$  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  $10 \text{ Hz}$ ،  $100 \text{ Hz}$ ،  $200 \text{ Hz}$ ،  $500 \text{ Hz}$ ،  $800 \text{ Hz}$ ،  $1 \text{ kHz}$ ،  $2 \text{ kHz}$ ،  $5 \text{ kHz}$ ،  $10 \text{ kHz}$  و  $100 \text{ kHz}$  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







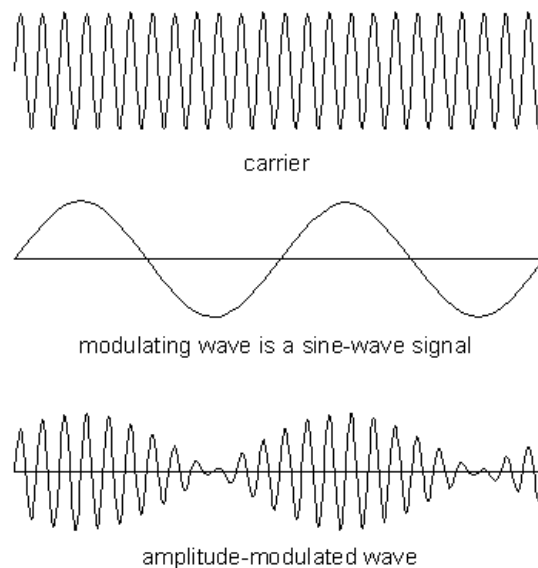
### ۳ آشنایی با مدولاتور دامنه

#### 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

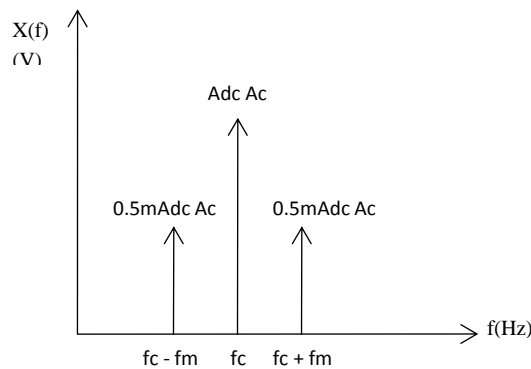
$f_c$  فرکانس کریر

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

با بازنویسی معادله ۱-۳ خواهیم داشت:

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

عبارت نخست در طرف دوم معادله ۲-۳ سیگنال کنارجذر DSB(double sideband) و عبارت دوم سیگنال کریر می باشد. با توجه به معادله ۲-۳ می توان طیف سیگنال مدوله شده AM را همانطور که در شکل ۲-۳ 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 ۲-۳. طیف سیگنال AM

مقدار  $m$  در معادله ۲-۳ 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:

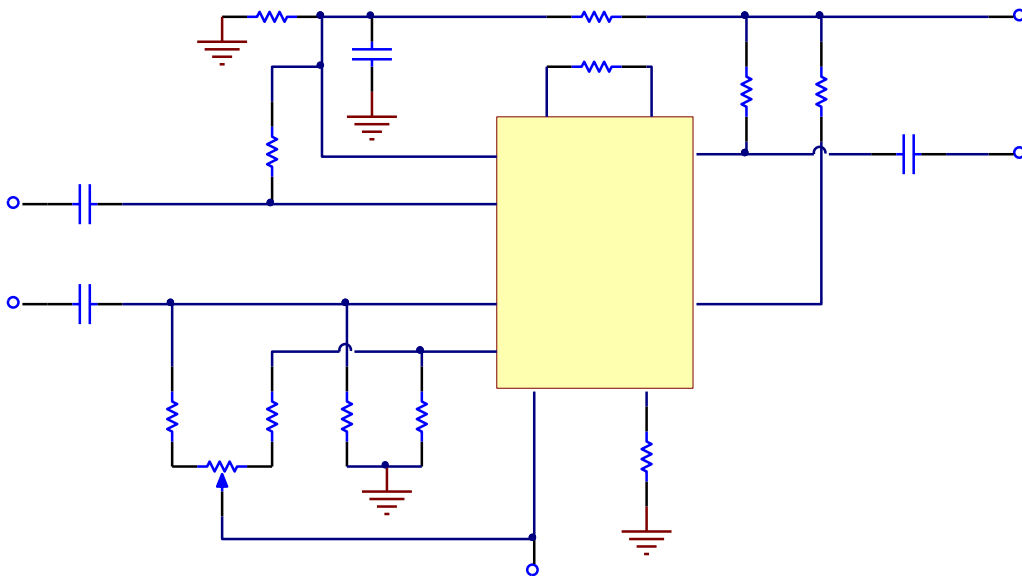
$$m = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100\% \quad (۴-۳)$$

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 سیگنال‌های باند کناری بزرگ‌تر منجر به بهره انتقال بزرگ‌تر خواهد شد. از معادله ۲-۳ می‌توان به این نتیجه رسید که هر چه اندیس مدولاسیون بزرگ‌تر باشد سیگنال‌های باند کناری بزرگ‌تر شده و در نتیجه بازده انتقال نیز بزرگ‌تر خواهد شد. در عمل اندیس مدولاسیون معمولاً کمتر یا مساوی ۱ می‌باشد. اگر  $m > 1$  باشد اصطلاحاً می‌گویند over modulation رخ داده است.

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

شکل ۳-۳ مدار مدولاسیون AM را نشان می‌دهد که سیگنال‌های کریر و پیام به صورت ورودی‌های single-ended به ترتیب به پایه‌های ۱۰ و ۱ اعمال شده‌اند. بهره کلی مدار توسط مقاومت  $R_8$  تعیین می‌شود. مقاومت  $R_9$  مقدار جریان بایاس را تعیین می‌کند. با تغییر مقدار  $VR_1$  یا دامنه سیگنال پیام می‌توان 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  $1\text{ kHz}$  را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه  $250mV_{p-p}$  و فرکانس  $100\text{ kHz}$  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  $200\text{ mV}_{p-p}$  و  $150\text{ mV}_{p-p}$  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  $1\text{ kHz}$  را به ورودی (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه  $100mV_{p-p}$  و فرکانس  $100\text{ kHz}$  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  $3\text{ kHz}$  را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه  $250mV_{p-p}$  و فرکانس  $100\text{ kHz}$  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  $150\text{mV}_{p-p}$  و فرکانس 2 kHz را به ورودی پیام (I/P2) و یک سیگنال سینوسی با دامنه  $250\text{mV}_{p-p}$  و فرکانس 500 kHz را به ورودی سیگنال کریپر (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 کریپر 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
$E_{max} =$ $E_{min} =$			$250\text{mV}_{p-p}$
$E_{max} =$ $E_{min} =$			$200\text{mV}_{p-p}$
$E_{max} =$ $E_{min} =$			$150\text{mV}_{p-p}$

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
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$100 \text{ mV}_{p-p}$
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$200 \text{ mV}_{p-p}$
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$300 \text{ mV}_{p-p}$

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
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$3 \text{ kHz}$
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$2 \text{ kHz}$
$E_{\max} =$ $E_{\min} =$			$1 \text{ kHz}$

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

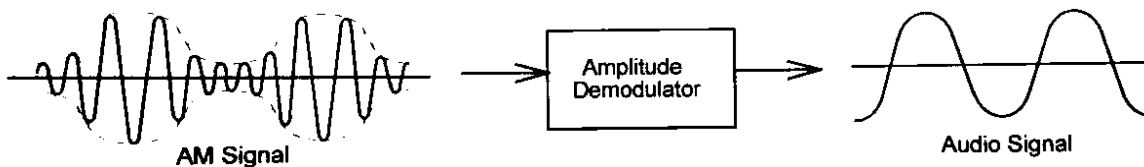
#### ۴. آشنایی با دمدولاتور دامنه

اهداف :

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

#### ۱-۴ تشریح اصول

فرایند دمدولاسیون عکس فرایند مدولاسیون می‌باشد. همانطور که در آزمایش ۳ گفته شد، سیگنال AM یک سیگنال مدوله شده می‌باشد که در آن دامنه سیگنال فرکانس بالای کریر توسط دامنه سیگنال فرکانس پایین پیام تغییر می‌کند. 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 می‌نامند. این فرایند در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. آشکارسازهای AM به دو دسته تقسیم می‌شوند: آشکارسازهای سنکرون و آسنکرون. در این بخش این دو نوع آشکارساز بحث خواهد شد.

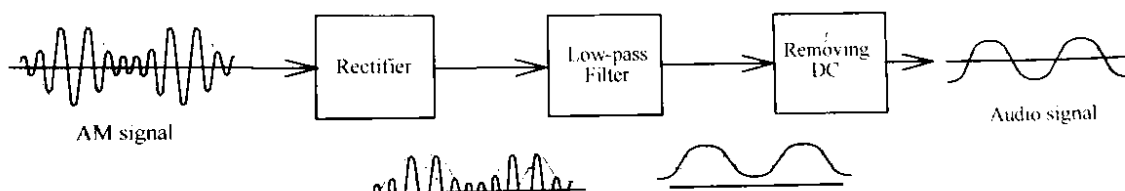


شکل ۴-۱. دمدولاسیون دامنه

#### 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 می‌کند، لذا یک دمدولاتور برای آشکارسازی سیگنال مدوله کننده اصلی از سیگنال AM مورد استفاده قرار می‌گیرد.

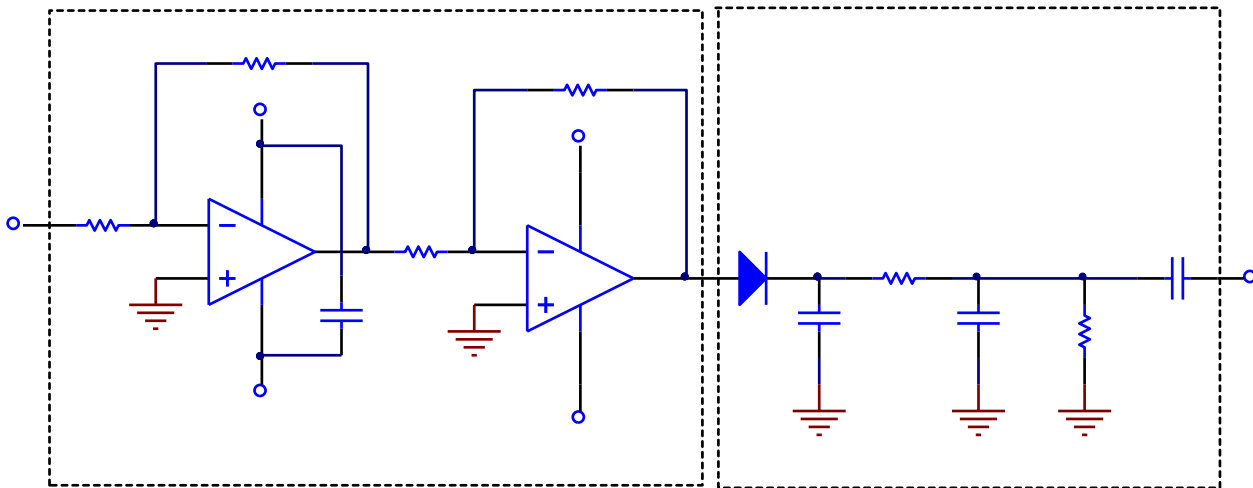
بلوک دیاگرام آشکارساز دیودی در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که یک آشکارساز آسنکرون می‌باشد. سیگنال مدوله شده AM که شامل سیگنال پوش نیمه مثبت و منفی می‌باشد به ورودی یکسوساز اعمال می‌شود. سیگنال خروجی یکسوساز، سیگنال پوش مثبت به علاوه یک سطح dc می‌باشد که به ورودی یک فیلتر پایین‌گذر اعمال می‌گردد و خروجی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



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:

$$x_{AM}(t) = V_{DC}[1 + m\cos(2\pi f_m t)][V_c \cos(2\pi f_c t)] \quad (1-4)$$

$$x_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t) \quad (2-4)$$

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

$$\begin{aligned} x_{out}(t) &= kx_c(t) \times x_{AM}(t) \\ &= kV_{DC}V_c^2[1 + m\cos(2\pi f_m t)]\cos^2(2\pi f_c t) \\ &= \frac{kV_{DC}V_c^2}{2} + \frac{kV_{DC}V_c^2}{2}m\cos(2\pi f_m t) + \frac{kV_{DC}V_c^2}{2}[1 + m\cos(2\pi f_m t)]\cos[2(2\pi f_c t)] \quad (3-4) \end{aligned}$$

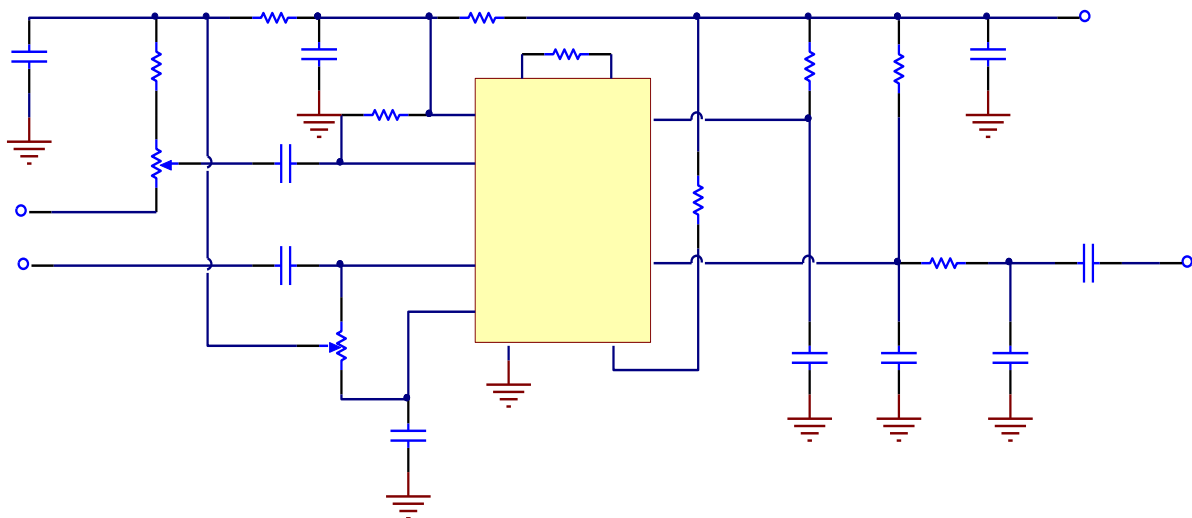
که  $k$  بهره مدولاتور متعادل می‌باشد. جمله اول در سمت راست رابطه ۳-۴ نشان دهنده سطح dc، جمله دوم سیگنال مدوله کننده و جمله سوم سیگنال هارمونیک مرتبه دوم می‌باشد. برای بازیابی سیگنال مدوله کننده، پیام باید از سیگنال AM (سیگنال  $x_{out}(t)$ ) بازیابی شود.

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  $200\text{ kHz}$  و ورودی سیگنال پیام را یک سیگنال سینوسی با دامنه  $150\text{mV}_{\text{p-p}}$  و فرکانس  $3\text{ kHz}$  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  $2\text{ kHz}$  و  $1\text{ kHz}$  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  $300\text{ kHz}$  و سیگنال پیام را به یک سیگنال سینوسی با دامنه  $250\text{mV}_{\text{p-p}}$  و فرکانس  $3\text{ kHz}$  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  $2\text{ kHz}$  و  $1\text{ kHz}$  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  $500\text{ kHz}$  و ورودی سیگنال پیام را یک سیگنال سینوسی با دامنه  $150\text{mV}_{\text{p-p}}$  و فرکانس  $3\text{ kHz}$  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  $2\text{ kHz}$  و  $1\text{ kHz}$  تغییر داده و گام  $5$  را تکرار نمایید.
۷. کریپر را به سینوسی با دامنه  $250\text{mV}_{\text{p-p}}$  و فرکانس  $1\text{MHz}$  و پیام را به سینوسی با دامنه  $150\text{mV}_{\text{p-p}}$  و فرکانس  $2\text{kHz}$  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  $1.5\text{ MHz}$  و  $2\text{ MHz}$  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

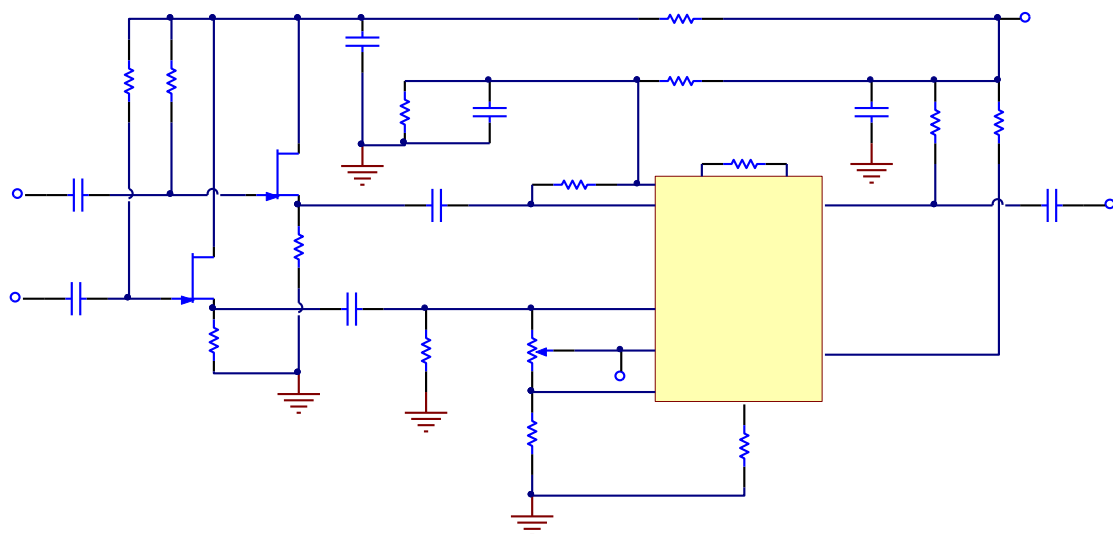
## ۵. آشنایی با سیگنال های مدولاتور

### 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.

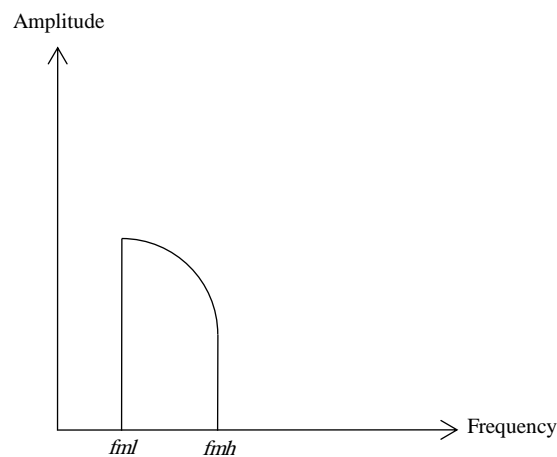
برای تشریح سیگنال‌های مدوله شده AM، DSB-SC یا SSB از یک سیگنال پیام با طیف نشان داده شده در شکل ۵-۲ الف استفاده می‌کنیم. مقدار  $f_{mh}$  بالاترین و  $f_{ml}$  پایین‌ترین فرکانس در سیگنال پیام می‌باشد. چنانچه این سیگنال پیام برای مدوله کردن دامنه کریر سینوسی مورد استفاده قرار گیرد، طیف AM خروجی به صورت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

۱. فرکانس کریر  $f_c$

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

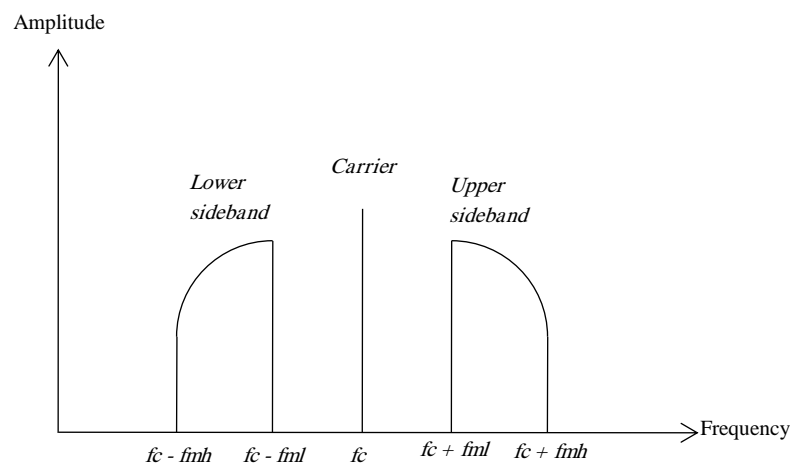
۳. کنار باند پایینی با بالاترین فرکانس  $(f_c - f_{mi})$

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.

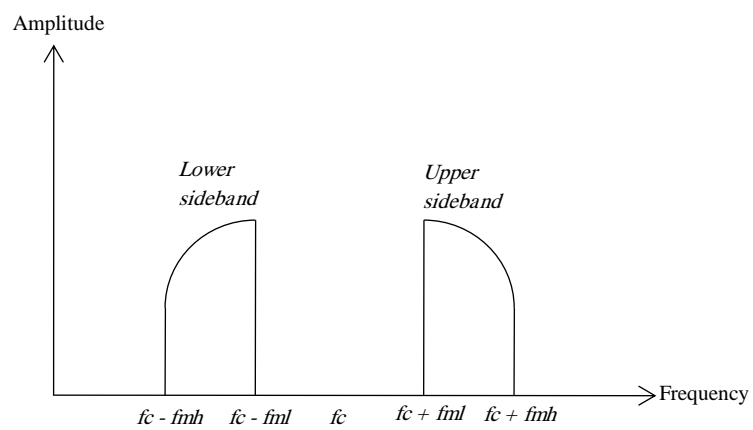


شکل ۵-۲ الف. طیف سیگنال پیام

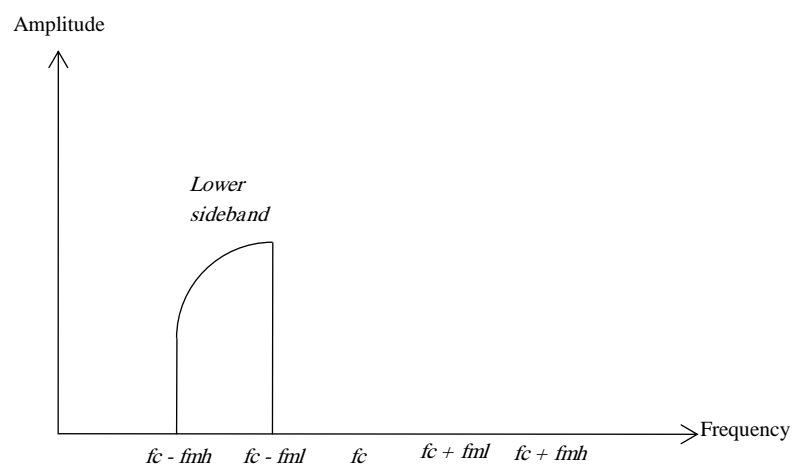




شکل ۵-۲.ب. طیف سیگنال AM



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:

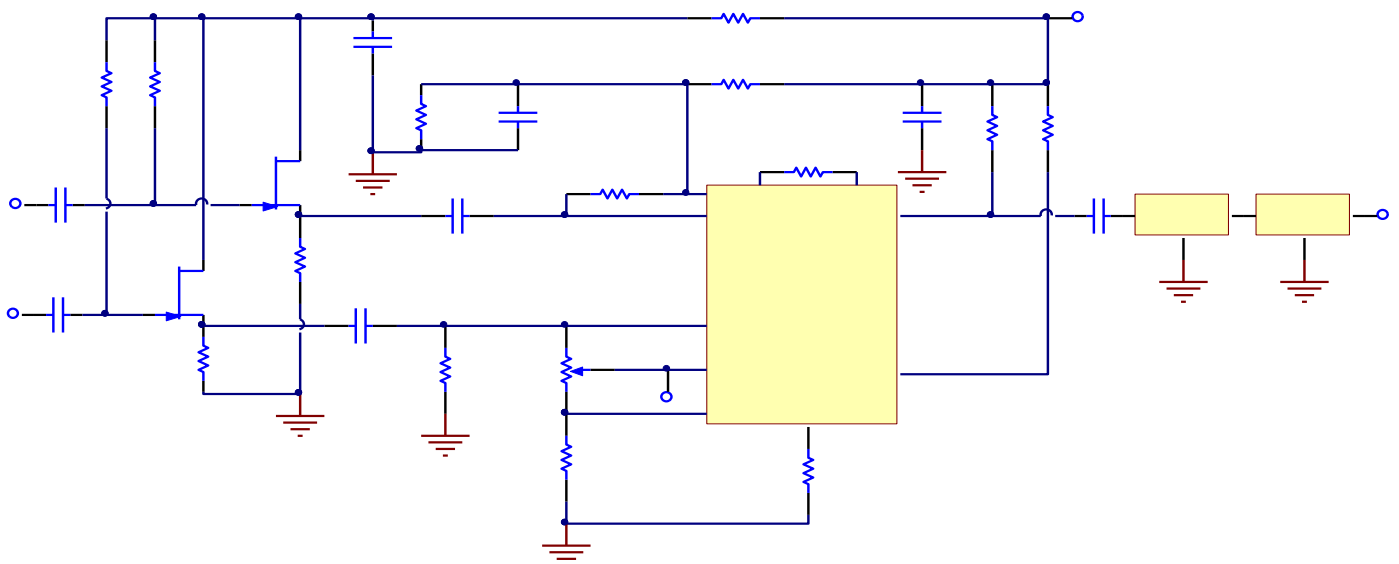
$$V_o(t) = k(A_m \cos 2\pi f_m t)(A_c \cos 2\pi f_c t)$$

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

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

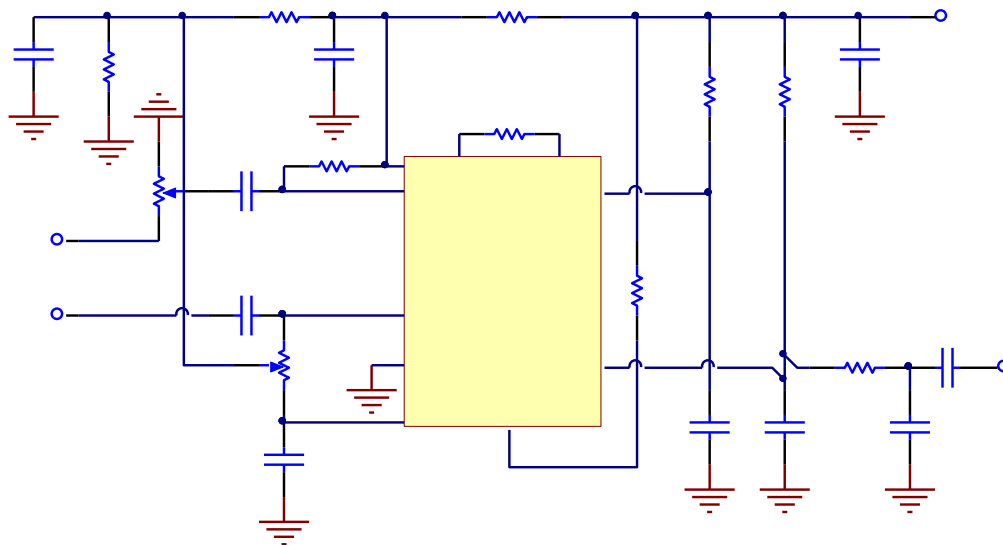
اهداف :

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  $500\text{ mV}_{pp}$  تا  $800\text{ mV}_{pp}$  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 دمدموله 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 از رابطه دمدموله نماید. برای تغییر بهره دمدمولاتور می توان دامنه سیگنال کریر 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 کریر (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 دمدموله 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. ماژول 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  $500\text{kHz}$ ،  $500\text{mV}_{\text{p-p}}$  را به ورودی کریپر و سیگنال سینوسی  $1\text{kHz}$ ،  $500\text{mV}_{\text{p-p}}$  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  $500\text{kHz}$ ،  $500\text{mV}_{\text{p-p}}$  و سیگنال پیام را به یک سینوسی  $3\text{kHz}$ ،  $500\text{mV}_{\text{p-p}}$  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:

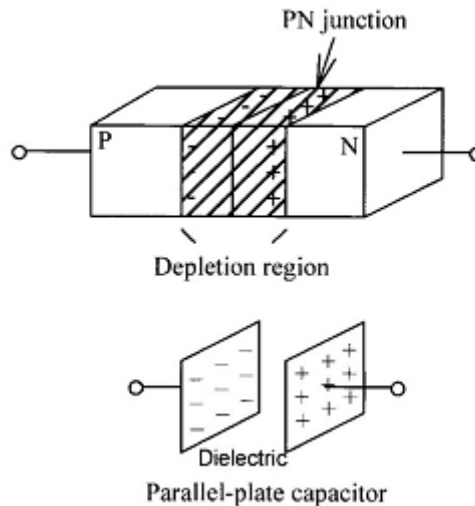
$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

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

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:

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

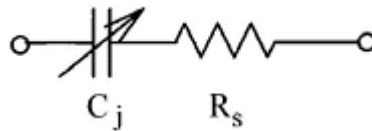
که:

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

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)

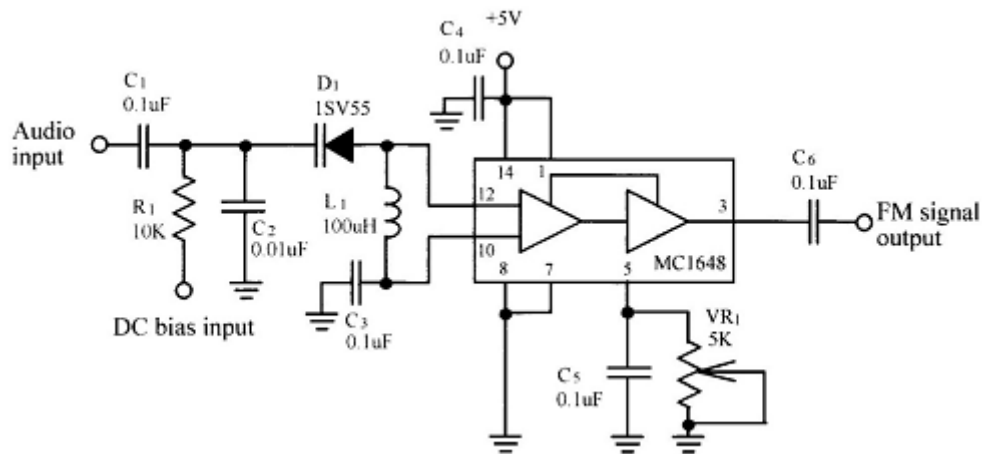
(ظرفیت دیود و اراکتور در ۳ ولت)  $C_{3V} = 42 \text{ pf}$

(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.



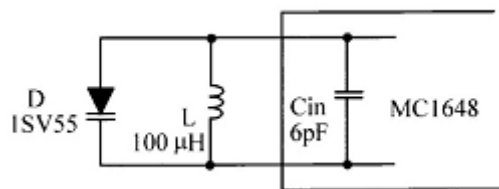


شکل ۷-۳. مدار مدولاتور MC1648

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:

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

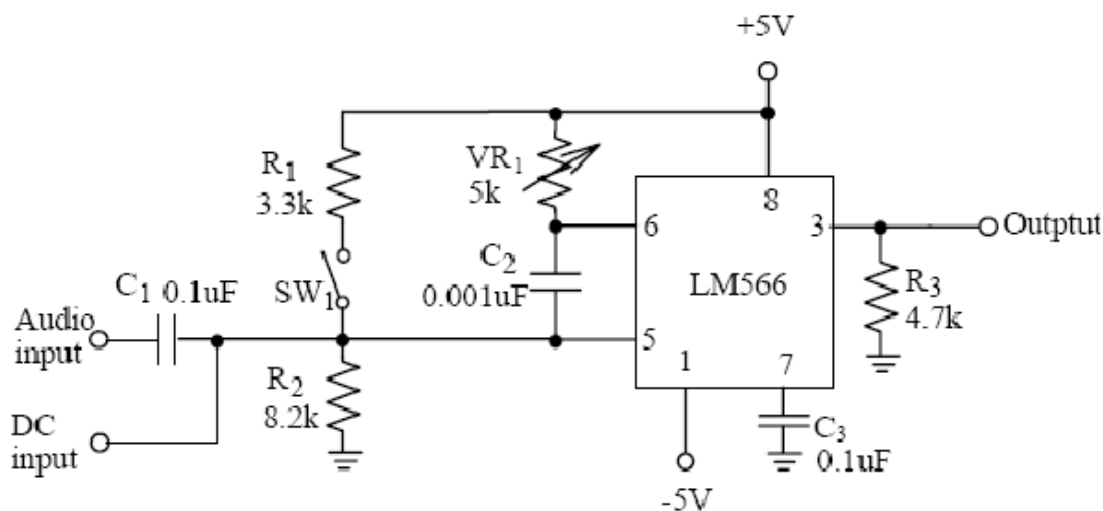
همانطور که در بالا اشاره شد، ظرفیت خازنی  $C_d$  دیود واراکتور  $D_1$  با مقدار ولتاژ بایاس معکوس آن تغییر خواهد کرد. بر اساس معادله، می دانیم که تغییر مقدار  $C_d$  موجب تغییر فرکانس نوسان خواهد شد. در مدار شکل ۷-۳ یک بایاس dc کوچک یک مقدار ظرفیت خازنی بزرگ  $C_d$  و یک فرکانس کوچک خروجی را تولید خواهد 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 ( $V_5$ ) 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  $C_3$  و  $VR_1$  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 انحرافی 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  $3\text{V}_{\text{DC}}$  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  $5\text{V}$  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  $3\text{kHz}$  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  $5\text{kHz}$  و  $8\text{kHz}$  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  $100\text{nF}$  انتخاب گردد.

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

۴. ولتاژ DC در پایه ۵ را به ترتیب به مقادیر  $2.7\text{V}$ ،  $3.0\text{V}$ ،  $3.3\text{V}$ ،  $3.9\text{V}$  و  $4.2\text{V}$  و  $4.5\text{V}$  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  $C_4$  ( $100\text{nF}$ ) به  $C_3$  ( $10\text{nF}$ ) خواهد شد.

۷. یک ولتاژ  $3.6\text{V}_{\text{dc}}$  را به ورودی ولتاژ مستقیم (پین ۵) اعمال نمایید و پتانسیومتر  $VR_1$  را تغییر داده تا یک سیگنال  $20\text{kHz}$  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  $500\text{ mV}_{p-p}$  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.

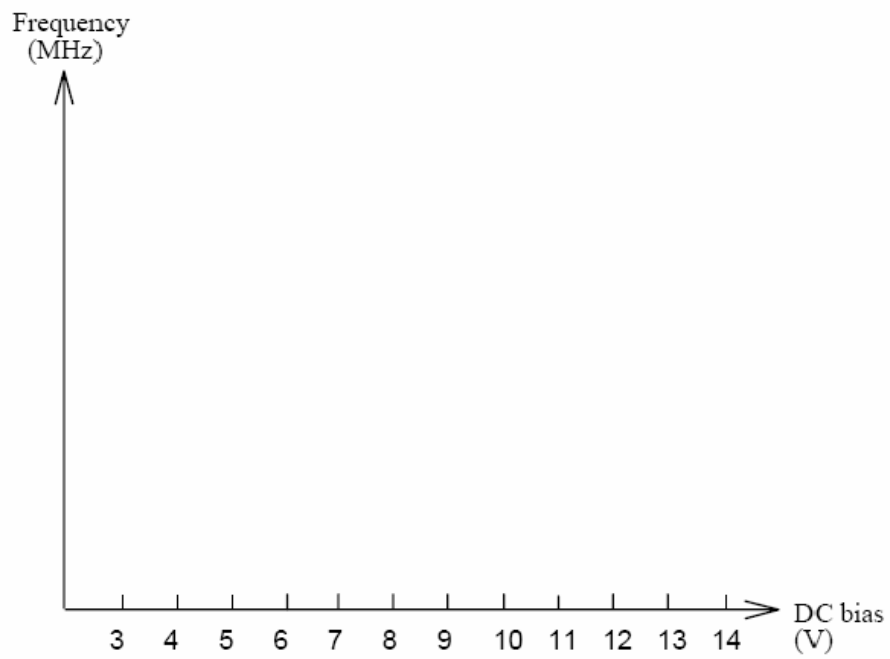
۳. فرکانس پیام را به ترتیب به 3kHz و 5kHz تغییر دهید. شکل موج های خروجی مربوط به هر کدام از ورودیها را مشاهده کرده و نتایج را در جدول ۵-۷ ثبت نمایید.

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

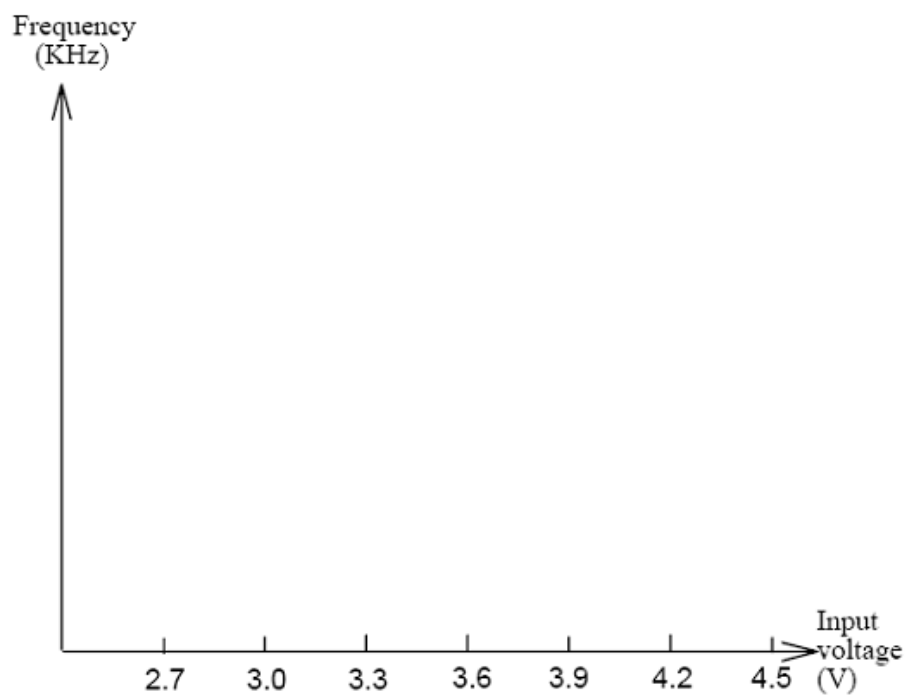
$V_m=1.5V_{p-p}$

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)

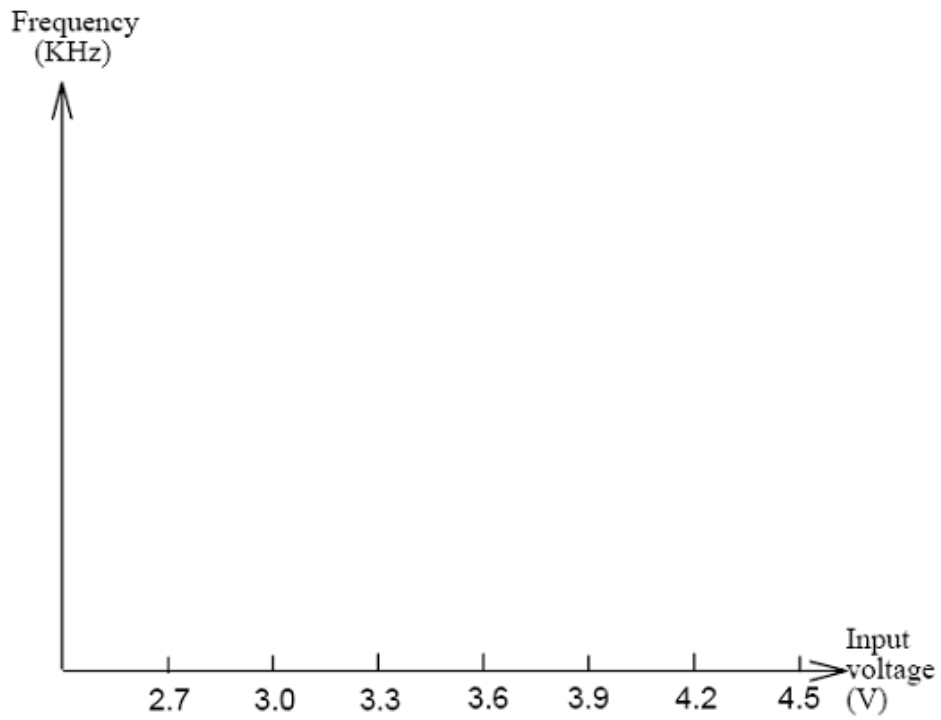
جدول ۳-۷ ( $C_3 = 0.1\mu\text{F}$ ,  $f_0 = 2\text{kHz}$ )



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

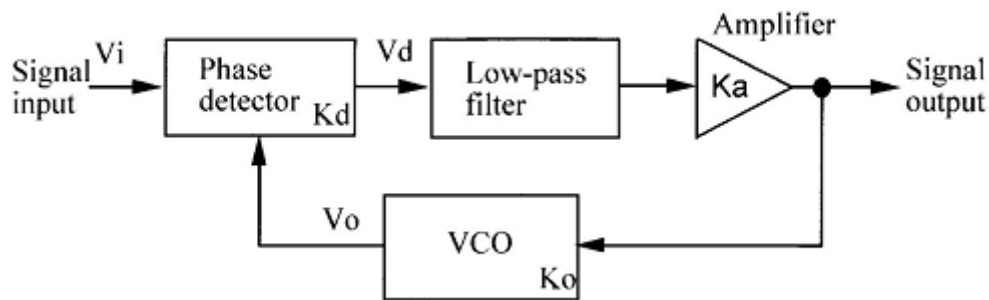
۴. دمدولاسیون سیگنال FM با استفاده از مبدل جدا کننده FM به AM

## 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 کریبر 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 کریبر 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 فرکانس های دو ورودی یکسان باشد، مقدار خروجی را صفر می کند. اگر فرکانس های ورودی برابر نباشد، زمانی که سیگنال از فیلتر پایین گذر عبور می کند مولفه های ac حذف شده و تنها یک سطح DC به VCO اعمال می شود. این عمل باعث می شود تا حلقه فیدبک بسته شود. از این رو سطح DC اعمال شده به ورودی VCO فرکانس خروجی آن را تغییر می دهد 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 می باشد.

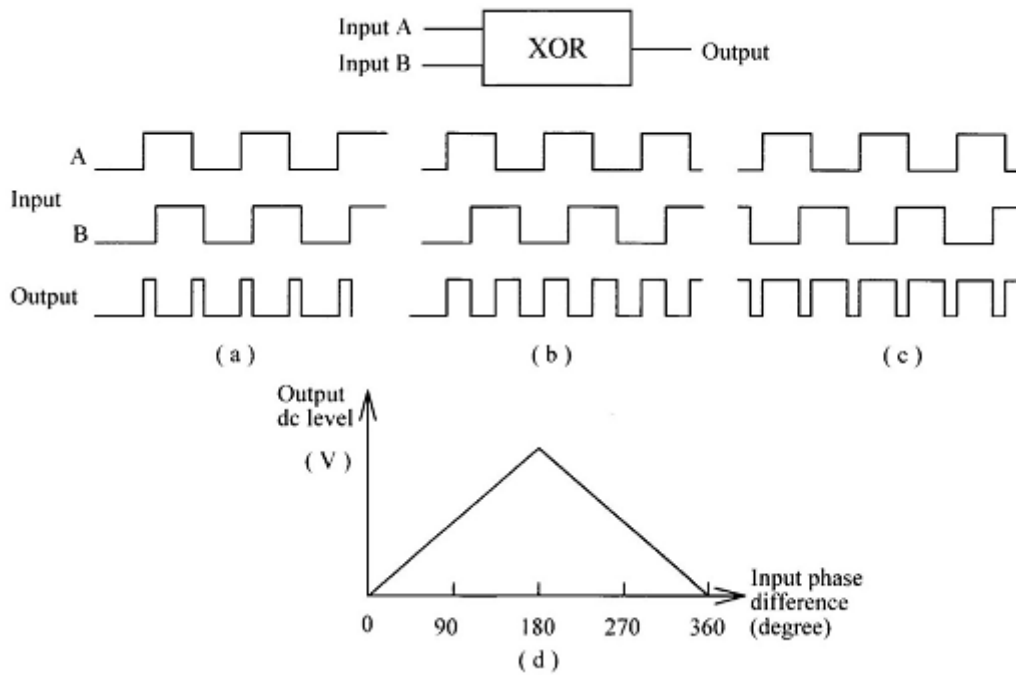
$$K_d = \text{بهره آشکارساز فاز (volt/rad)}$$

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

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

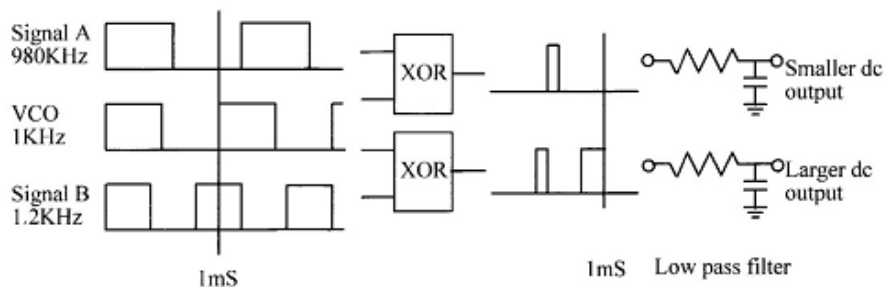
$$K_L = K_d K_a K_o = \text{بهره حلقه بسته (kHz/volt)}$$

برای فهم بهتر عملکرد آشکارساز فاز فرض کنید که یک گیت XOR به عنوان آشکارساز فاز استفاده شده است. گیت XOR می تواند به صورت یک آشکارساز نابرابری عمل کند، به این صورت که ورودی ها را مقایسه کرده و چنانچه ورودی ها با هم برابر نباشند یک پالس در خروجی تولید کند. پهنای پالس خروجی متناسب با اختلاف فاز سیگنال های ورودی می باشد. 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 می باشد. زمانی که خروجی آشکارساز فاز به ورودی فیلتر پایین گذر اعمال می شود، خروجی فیلتر پایین گذر یک سطح DC خواهد بود که به طور مستقیم با عرض پالس متناسب می باشد. به عبارت دیگر، سطح DC خروجی متناسب با خطای فاز سیگنال های ورودی می باشد. شکل ۸-۲ (d) ارتباط بین خطای فاز ورودی و سطح DC خروجی را نشان می دهد.



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

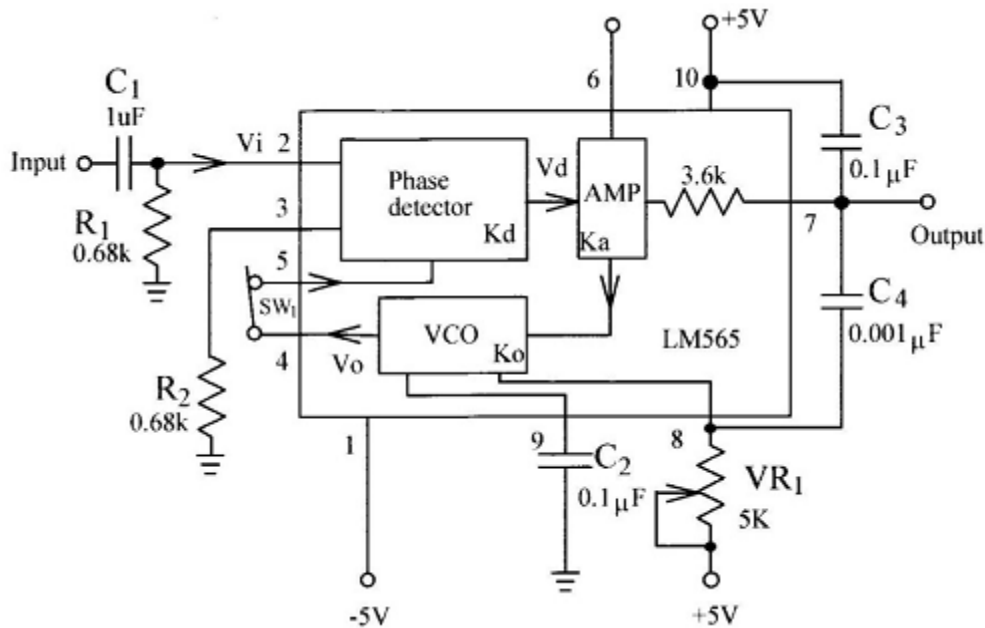
اگر فرکانس VCO و سیگنال A که فرکانسش کمتر از 980Hz است به ورودی آشکارساز فاز XOR اعمال شوند، پهنای باریکتر پالس خروجی باعث خواهد شد تا فیلتر پایین گذر ولتاژی کمتر از ۱ ولت در خروجی ایجاد نماید. این سطح ولتاژ کم باعث کاهش فرکانس VCO و نزدیک شدن به فرکانس ورودی می شود. اگر فرکانس خروجی VCO مشابه با فرکانس 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:

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

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

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.

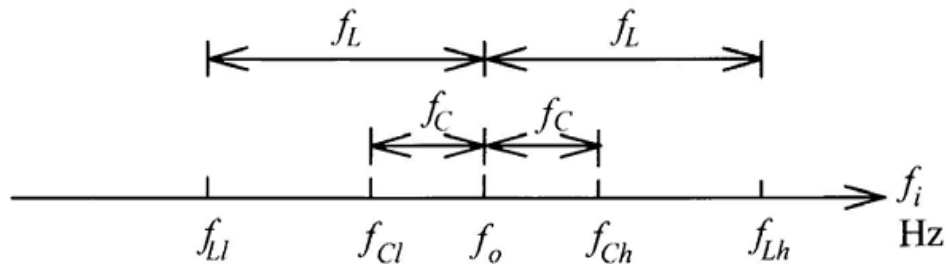
محدوده قفل برای تراشه LM565 به وسیله فرمول زیر به دست می آید:

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

## 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 ( $f_0$ ) 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 بازه فرکانسی را تشکیل می دهد را محدوده ضبط حلقه می گویند. محدوده ضبط برای تراشه LM565 از رابطه زیر به دست می آید:

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



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 ۸-۴ 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  $3.6 \text{ K}\Omega$  (پین 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. ماژول TC-96
۲. اسیلوسکوپ

## ۳-۸ آزمایش

### ۱-۳-۸ آزمایش اندازه گیری LM565

۱. مدار LM565 PLL در ماژول مدولاتور/دمدولاتور FM را انتخاب نمایید. اتصال  $J_2$  را برقرار نمایید تا خازن  $C_2$  (0.1uF) 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) (پین 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 2kHz گردد.

۴. اتصال  $J_1$  را برقرار نمایید. یک موج مربعی با دامنه  $0.5V_{pp}$  و فرکانس 2kHz به ورودی (I/P) اعمال نمایید.

۵. سیگنال های ورودی PLL (I/P) و خروجی VCO (پین 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 ماژول 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  $f_{Cl}$  را مشاهده و نتیجه را در جدول ۱-۸ ثبت کنید.

$$f_C = \frac{(f_{Ch} - f_{Cl})}{2}$$

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  $f_o$  VCO free running به مقدار 20kHz برسد. اتصال  $J_1$  را برقرار کرده و یک سیگنال مربعی  $0.5V_{p-p}$  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 ماژول 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 دمولاتور/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 PLL LM565 را تکمیل نمایید. ولوم  $VR_1$  را طوری بچرخانید تا فرکانس  $f_0$  free running در خروجی VCO (بین ۴) برابر 20kHz گردد.

۳. خروجی دمولاتور FM LM566 را به ورودی مدار PLL LM565 وصل نمایید و اتصال  $J_1$  را برقرار نمایید.

۴. یک موج سینوسی با فرکانس 1kHz و دامنه  $300mV_{pp}$  به ورودی دمولاتور 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.

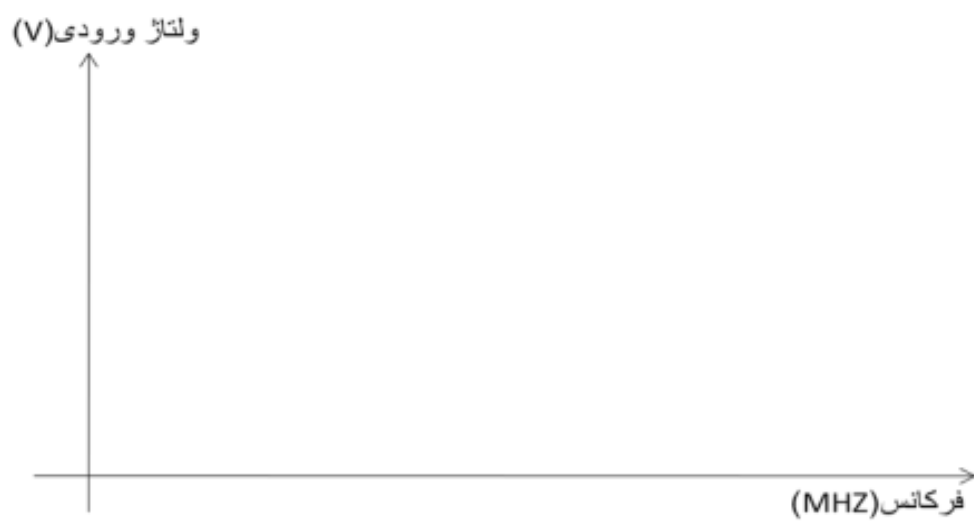
محدوده فرکانسی	محدوده حالت قفل	محدوده کارکرد	C	$f_0$
----------------	-----------------	---------------	---	-------

free running		$f_i$		$f_c$		2kHz
$f_{oh}$	$f_{ol}$	$f_{Lh}$	$f_{Ll}$	$f_{ch}$	$f_{cl}$	
		$f_i =$		$f_c =$		

جدول ۱-۸

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

جدول ۲-۸



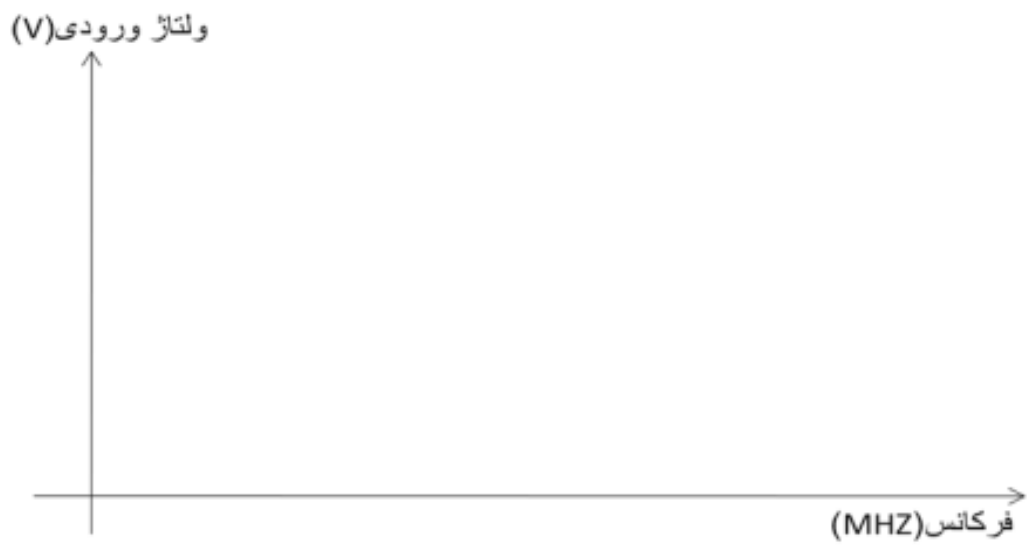
شکل ۶-۸



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

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

## ۹. آشنایی با سنتز کننده فرکانسی

اهداف :

۱. مطالعه اصول سنتز کننده فرکانسی.

۲. اندازه‌گیری مشخصات سنتز کننده فرکانسی.

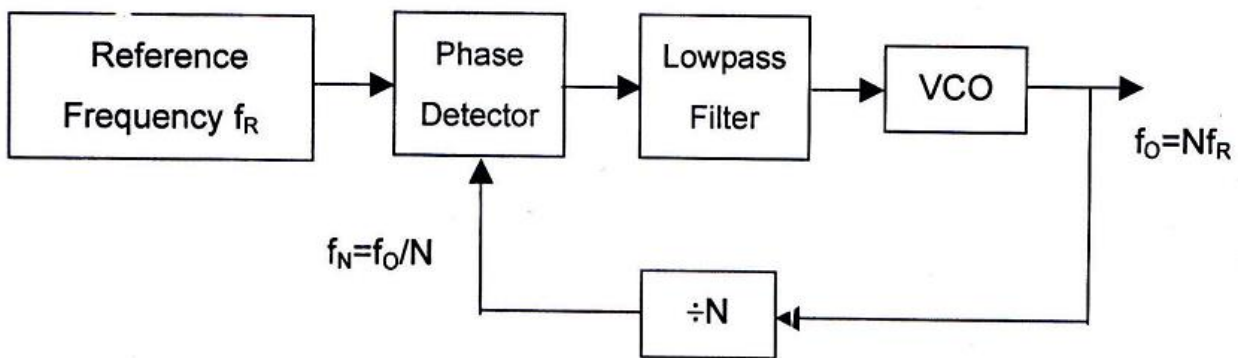
## ۱-۹ تشریح اصول

سنتز کننده فرکانسی یک منبع فرکانس است که فرکانس سیگنال خروجی آن برابر با فرکانس مرجع ورودی بوده که در یک عدد صحیح ضرب شده باشد. شکل ۱-۱۵ یک سنتز کننده فرکانسی را نشان می‌دهد که شامل یک PLL، VCO، آشکارساز فاز و شمارنده تقسیم بر N می‌باشد.

آشکارساز فاز در PLL شکل ۱-۹ یک مقدار متوسط ولتاژ تولید می‌کند که متناسب با تفاوت بین فرکانس مرجع ورودی  $f_{REF}$  و فرکانس خروجی شمارنده تقسیم بر N یا  $f_0/N$  می‌باشد. شمارنده تقسیم بر N به ازای هر N پالس ورودی یک پالس در خروجی تولید می‌کند. ولتاژ خروجی آشکارساز فاز پس از فیلتر شدن توسط یک فیلتر پایین‌گذر و به منظور کنترل فرکانس خروجی VCO ( $f_0$ ) به ورودی VCO اعمال می‌شود، بنابراین فرکانس خروجی N برابر فرکانس مرجع ورودی در هنگام قفل شدگی می‌باشد.

زمانی که PLL قفل می‌شود، ارتباط بین خروجی شمارنده و مرجع به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f_R = f_N = f_0/N$$



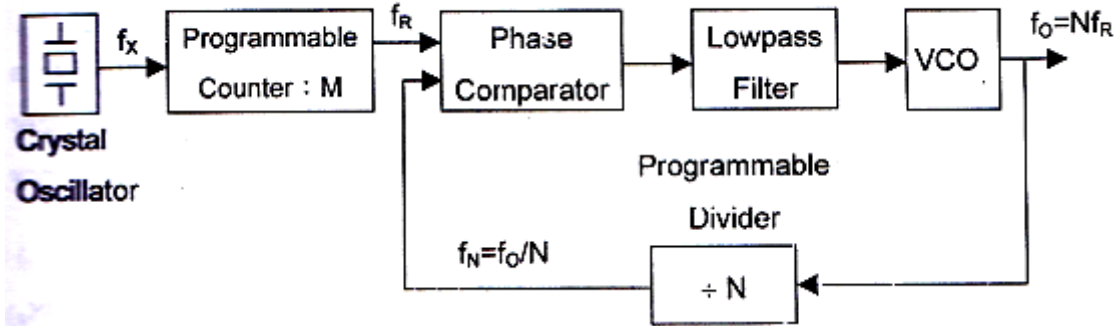
شکل ۱-۹. بلوک دیاگرام یک سنتز کننده فرکانسی

$$\text{و یا } f_0 = Nf_R$$

بدیهی است که فرکانس خروجی توسط فرکانس مرجع  $f_R$  و مقدار شمارنده N تعیین می‌شود. به عبارت دیگر یک سنتز کننده فرکانس یک مولد فرکانس است که فرکانس خروجی آن برابر با فرکانس مرجع ورودی در عدد صحیح N می‌باشد. بنابراین یک فرکانس مرجع پایدار و دقیق برای یک سنتز کننده فرکانسی خوب مورد نیاز می‌باشد. معمولاً یک اسیلاتور کریستالی به کار گرفته می‌شود.

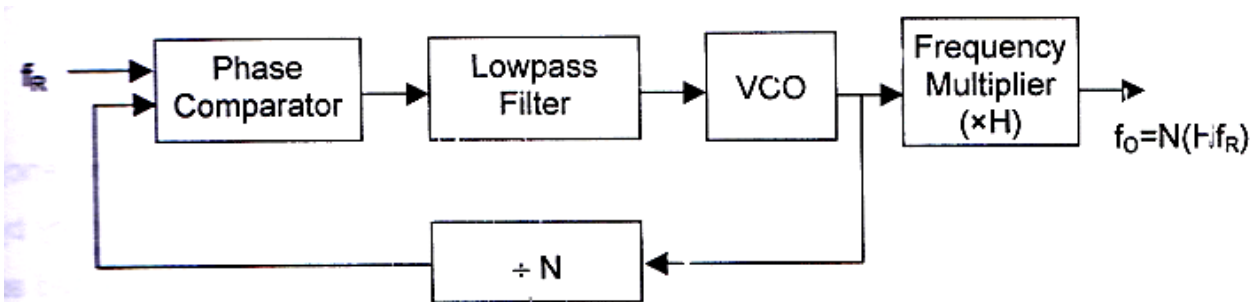
۱-۱-۹ انواع سنتز کننده فرکانسی

۱. سنتز کننده فرکانسی استاندارد



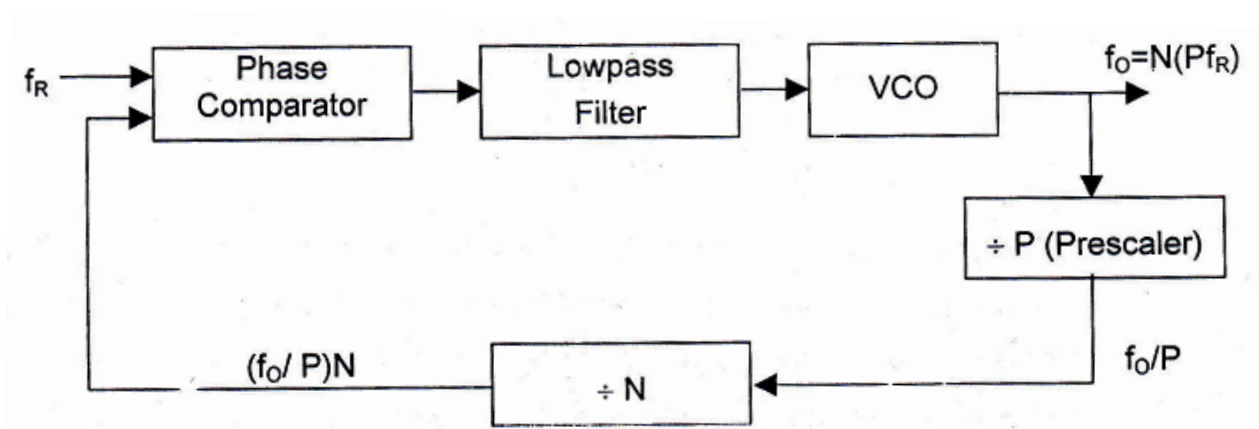
شکل ۹-۲. بلوک دیاگرام سنتز کننده فرکانسی استاندارد

۲. سنتز کننده فرکانسی با ضرب کننده فرکانس



شکل ۹-۳. بلوک دیاگرام سنتز کننده فرکانسی با یک ضرب کننده فرکانس

۳. سنتز کننده فرکانسی با استفاده از مقسم

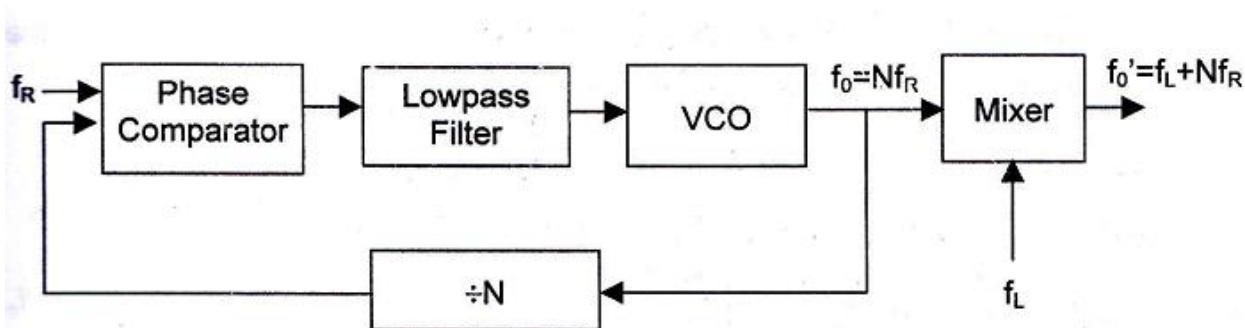


شکل ۹-۴. بلوک دیاگرام سنتز کننده فرکانسی با مقسم

۴. سنتز کننده فرکانسی با مبدل فرکانس

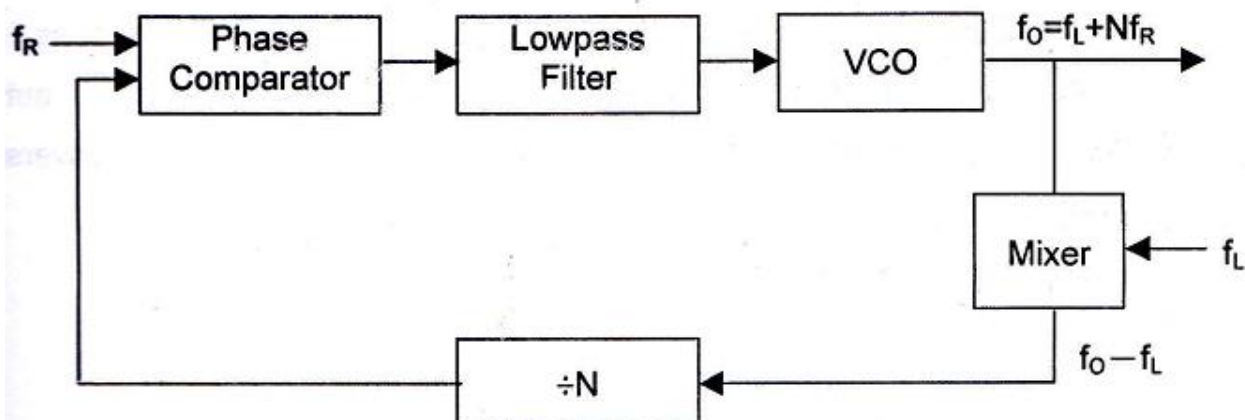
این نوع سنتز کننده فرکانس به دو دسته زیر تقسیم می‌شود:

الف) سنتز کننده فرکانسی با rising frequency converter



شکل ۹-۵. بلوک دیاگرام سنتز کننده فرکانسی با rising frequency converter

ب) سنتز کننده فرکانسی با lowering frequency converter



شکل ۹-۶. بلوک دیاگرام سنتز کننده فرکانسی با lowering frequency converter

توضیح مدار عملی

شکل ۹-۷ مدار کامل مازول سنتز کننده فرکانسی را نشان می‌دهد. این مازول شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

۱. واحد فرکانس مرجع

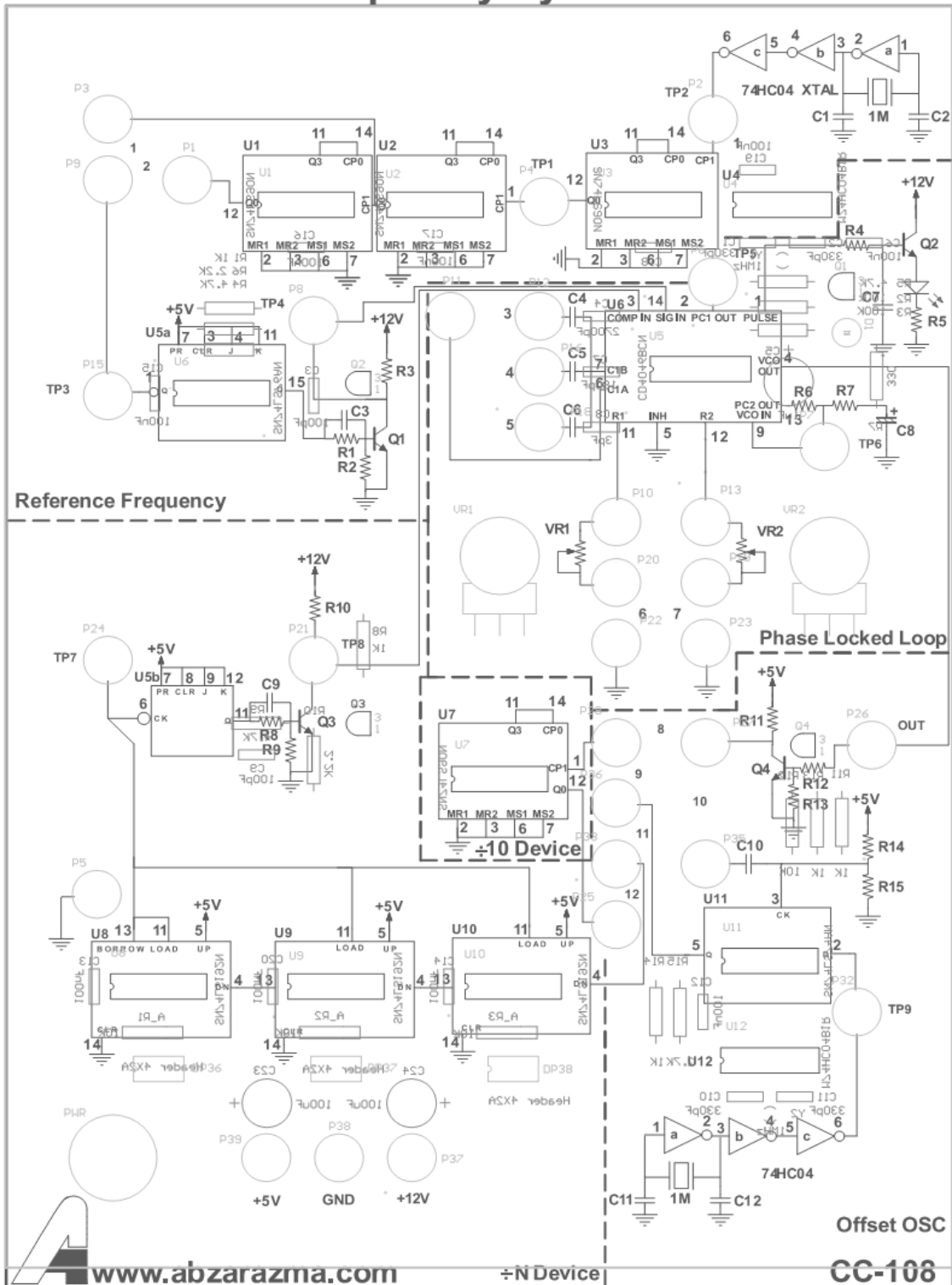
۲. واحد PLL

۳. واحد تقسیم کننده بر N

۴. واحد تقسیم کننده بر ۱۰

۵. واحد آفست OSC

# PLL Frequency Synthesizer



شکل ۹-۷. ماژول PLL

۱. واحد فرکانس مرجع

واحد فرکانس مرجع شامل یک اسیلاتور با مرجع کریستال و یک مقسم فرکانس می‌باشد. یک کریستال کوارتز 1MHz (XTAL1) و یک گیت Not (U<sub>4a</sub>, 74HC04) اسیلاتور دقیق را می‌سازند. ۳ شمارنده BCD (U<sub>1</sub>-U<sub>2</sub>-U<sub>3</sub>, 74LS90) به منظور ساخت تقسیم کننده بر ۱۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سیگنال خروجی اسیلاتور مرجع از طریق بافرهای Not (U<sub>4a</sub>, U<sub>4c</sub>) به ورودی تقسیم کننده بر ۱۰۰۰ متصل شده است. فرکانس سیگنال خروجی از مقسم برابر با  $1000 \text{ KHz} \div 1000 = 1 \text{ KHz}$  خواهد بود.

فرکانس خروجی دیگر از U<sub>2</sub> Q<sub>A</sub> برابر  $1000 \text{ KHz} \div 100 = 10 \text{ KHz}$  می‌باشد. در کنار این مقسم فرکانس یک فلیپ فلاپ JK (U<sub>5a</sub>, 74LS76) به عنوان تقسیم کننده بر ۲ قرار گرفته است و فرکانس خروجی آن در Q زمانی که ورودی کلاک آن به ۱ یا ۲ وصل شده باشد به ترتیب  $f_R = 5 \text{ kHz}$  یا  $f_R = 0.5 \text{ kHz}$  خواهد بود. ترانزیستور Q<sub>1</sub> خروجی TTL از U<sub>5a</sub> را به ورودی CMOS قطعه U<sub>6</sub> تبدیل می‌کند.

## ۲. واحد PLL

مدار PLL شامل یک مقایسه کننده فاز، نشانگر قفل، VCO و LPF می‌باشد. آیسی U<sub>6</sub> (CD4046) شامل دو عدد مقایسه کننده فاز و یک عدد VCO قلب PLL را تشکیل می‌دهند. آیسی CD4046 شامل دو مقایسه کننده فاز می‌باشد. یکی از مقایسه کننده‌ها یک سیستم XOR می‌باشد که عملکرد مناسبی در مقابل نویز دارد اما در مقابل هارمونیک حساس می‌باشد و بایستی در هر دو پایه ۳ و ۱۴ دارای موج مربعی باشد. این مقایسه کننده به محدوده فرکانسی باریکی محدود شده است. مقایسه کننده دوم یک مقایسه کننده فاز/فرکانس منطقی می‌باشد که در محدوده فرکانسی وسیعی کار می‌کند، ورودی با duty cycle های مختلف را قبول می‌کند و به هارمونیک حساس نمی‌باشد. این مقایسه کننده حذف نویز نسبتاً ضعیفی دارد. مقایسه کننده دوم در واحد PLL انتخاب شده است.

دو سیگنال ورودی مقایسه کننده فاز عبارتند از: (۱) سیگنال مرجع  $f_R$  بر روی TP<sub>4</sub> و (۲) سیگنال فیدبک  $f_N$  بر روی TP<sub>8</sub> که از خروجی مقسم برنامه پذیر می‌آید. مقایسه کننده فاز با پهنای وسیع یک خروجی سه وضعیتی sample and hold را برای فیلتر حلقه بر روی پین ۱۳ فراهم می‌کند. اگر فرکانس ورودی بیشتر از فرکانس VCO باشد یک خروجی high دائمی بدست می‌آید. اگر فرکانس ورودی کمتر از فرکانس VCO باشد یک خروجی low دائمی بدست می‌آید. اگر دو فرکانس با هم مساوی باشد، خروجی مقایسه کننده فاز یک پالس خواهد بود که متناسب با اختلاف فاز خواهد بود.

اگر سیگنال مرجع نسبت به سیگنال فیدبک تقدم فاز داشته باشد، مقایسه کننده فاز یک پالس high را در خروجی خواهد داشت که باعث شارژ شدن خازن C<sub>8</sub> می‌شود. اگر سیگنال مرجع نسبت به نسبت به سیگنال فیدبک تأخر فاز داشته باشد، مقایسه کننده فاز یک پالس low را در خروجی خواهد داشت که باعث دشارژ شدن خازن C<sub>8</sub> می‌شود. اگر دو فاز با یکدیگر مساوی باشند، خروجی مقایسه کننده فاز به صورت high impedance در آمده و شارژ خازن حفظ خواهد شد.

فیلتر حلقه که از مقاومت‌های R<sub>6</sub> و R<sub>7</sub> و خازن C<sub>8</sub> تشکیل شده است دو چیز را تعیین می‌کند: (۱) settling time یا تعداد سیکلی که حلقه طی می‌کند تا به مقدار متوسط برسد و (۲) damping یا توانایی حلقه در پذیرفتن تغییرات جدید بدون overshoot اضافی یا نوسانات احتمالی. مقدار settling time حلقه توسط R<sub>6</sub> و C<sub>8</sub> تعیین می‌شود. انتخاب مقدار RC خیلی بزرگ و یا خیلی کوچک باعث اختلال در عملکرد PLL می‌شود. مقدار damping حلقه توسط نسبت R<sub>6</sub> به R<sub>7</sub> تعیین می‌شود. مقادیر کوچک و یا صفر R<sub>7</sub> باعث ایجاد overshoot و یا حتی نوسان می‌شود. انتخاب مقدار بزرگ برای R<sub>7</sub> باعث می‌شود تا حلقه برای خواندن فرکانس ورودی جدید مدت زمان زیادی را صرف کند.

در طی مدت زمانی که PLL قفل است، پایه ۱ آیسی U<sub>6</sub> سطح high دارد که این امر ترانزیستور Q<sub>2</sub> را فعال کرده و باعث روشن شدن نشانگر قفل LED1 می‌شود. از طرف دیگر اگر PLL قفل نباشد خروجی low پایه ۱ آیسی U<sub>6</sub> باعث خاموش شدن ترانزیستور Q<sub>2</sub> و خاموش شدن نشانگر قفل LED1 می‌شود. کران‌های فرکانس VCO توسط خازن بین پایه ۶ و ۷ (C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> یا C<sub>6</sub>)، مقاومت فرکانس ماکزیمم (VR<sub>2</sub>) در پایه ۱۱ و مقاومت فرکانس مینیمم (VR<sub>1</sub>) در پایه ۱۲ و به صورت زیر تعیین می‌شود:



$$f_{MIN} = \frac{1}{VR_2(C_4 \sim 6 + 32pF)}$$

$$f_{MAX} = \frac{1}{VR_1(C_4 \sim 6 + 32pF)} + f_{MIN}$$

$$f_0 = \frac{(f_{MAX} - f_{MIN})}{2}$$

که  $f_{MAX}-f_{MIN}$  گستره قفل یا دنبال کردن VCO را نشان می‌دهد.

۳. واحد تقسیم بر N

سیگنال خروجی VCO از طریق  $Q_4$  level shifter که سطح CMOS (خروجی VCO) را به سطح TTL (ورودی مقسم) تبدیل می‌کند به مقسم برنامه پذیر متصل می‌شود. هر شمارنده دهدهی up/down سنکرون SN74192 به عنوان یک شمارنده کاهش‌ی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که در ورودی کنترل load (پایه ۱۱) مقدار low قرار گیرد، ورودی‌های BCD (پایه‌های ۱۵، ۱، ۱۰ و ۹) در شمارنده دهدهی بارگذاری می‌شود. وقتی پالس‌های ورودی به ورودی count-down (پایه ۴) برسد، شمارنده به صورت کاهش‌ی می‌شمارد و خروجی borrow (پایه ۱۳) یک پالس به عنوان underflow تولید می‌کند.

پالس خروجی مقسم برنامه‌پذیر ( $U_8-U_9-U_{10}$ ) از طریق یک فیلیپ فلاپ JK ( $U_{5b}$ ) به ورودی مقایسه‌کننده فاز ارسال می‌شود. علت این کار این است که عرض پالس خروجی بسیار باریک است و نمی‌تواند باعث درایو کردن مقایسه‌کننده فاز شود. به همین علت یک فیلیپ فلاپ JK ( $U_{5a}$ ) به واحد فرکانس مرجع اضافه شده است.

۴. واحد تقسیم بر ۱۰

یک سنتزکننده فرکانسی با مقسم (prescaler)، به سادگی با اضافه کردن یک مقسم فرکانسی به ورودی مقسم برنامه‌پذیر در مدار سنتزکننده فرکانسی بدست می‌آید. استفاده از مقسم فرکانس سیگنال خروجی سنتزکننده را ارتقا می‌دهد. در شکل ۷-۱۵ شمارنده دهدهی  $U_7$  (SN7490) به عنوان یک مقسم با نسبت ۱۰ عمل می‌کند. با استفاده از مقسم، گام فرکانسی  $\Delta F$  به اندازه ۱۰ برابر فرکانس مرجع افزایش می‌یابد.

۵. واحد آفست OSC

در شکل ۷-۱۵ فلپ فلاپ D ( $U_{11}$ , SN7474) به عنوان یک میکسر عمل می‌کند. اینورتر ( $U_{12}$ ) و کریستال ( $X'TAL2$ ) یک اسیلاتور محلی تشکیل می‌دهند که خروجی آن به ورودی D میکسر متصل شده است. فرکانس خروجی VCO یا  $f_0$  از طریق میکسر به مقدار کمتری شیفت داده می‌شود. فرکانس سیگنال خروجی میکسر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{out} = f_0 - f_L$$

که  $f_L$  فرکانس اسیلاتور محلی می‌باشد.

## ۲-۹ تجهیزات مورد نیاز

۱. ماژول TC-93
۲. اسیلوسکوپ

## ۱-۳-۹ آزمایش سنتز کننده فرکانسی استاندارد

۱. برای ساختن یک سنتز کننده فرکانسی استاندارد واحدهای زیر لازم می‌باشند.

(۱) واحد فرکانس مرجع

(۲) واحد PLL

(۳) واحد مقسم N

۲. اندازه‌گیری فرکانس مرجع

(۱) اتصال ۲ را برقرار نمایید.

(۲) با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج و فرکانس‌های تست پوینت‌های جدول ۱-۱۵ را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

۳. اندازه‌گیری مشخصه ولتاژ ورودی VCO بر حسب فرکانس خروجی

(۱) اتصال ۲ را قطع کنید. تغذیه را قطع کرده و با استفاده از مولتی متر دیجیتال مقدار ولوم  $VR_1$  را برابر  $10K\Omega$  و مقدار ولوم  $VR_2$  را برابر  $1.4M\Omega$  تنظیم نمایید.

(۲) اتصالات ۳ و ۶ را برقرار نمایید. کانال ۱ اسیلوسکوپ را به ترمینال OUT (VCO OUT) وصل نمایید. تغذیه متغیر 0-15VDC را به  $TP_6$  (VCO IN) وصل کنید. شکل موج‌ها و فرکانس‌ها را به ازای مقادیر ورودی dc مختلف در جدول ۲-۱۵ اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

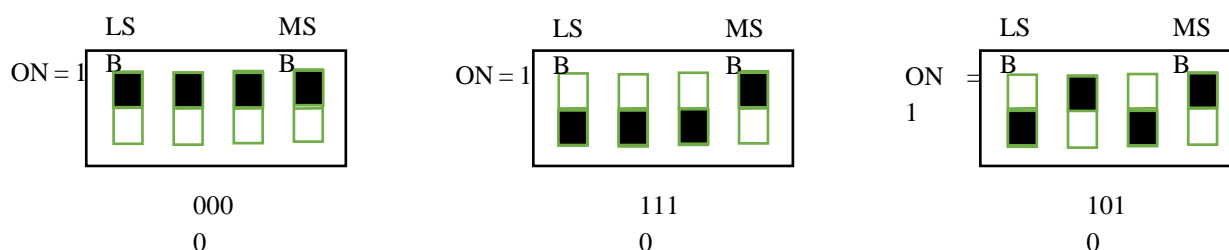
(۳) مشخصه ولتاژ - فرکانس VCO را بر اساس نتایج جدول ۲-۱۵ در شکل ۷-۱۵ رسم نمایید.

(۴) اتصال ۷ را برقرار نمایید (ولوم  $VR_2$  متصل شود). گام‌های (۲) و (۳) را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۳-۱۵ ثبت کرده و مشخصه را در شکل ۸-۹ رسم نمایید.

۴. اندازه‌گیری فرکانس سیگنال‌های مقایسه‌کننده فاز

(۱) اتصالات ۲، ۳، ۶، ۷ و ۱۱ را برقرار نمایید.

(۲) فرکانس‌های موجود در تست پوینت‌های  $TP_4$ ،  $TP_8$  و OUT را به ازای مقادیر مختلف دیپ سویچ‌ها در جدول ۴-۱۵ ثبت نمایید. توجه نمایید که سمت راست ترین دیپ سویچ مربوط به رقم یکان، دیپ سویچ وسط مربوط به رقم دهگان و سمت چپ ترین دیپ سویچ مربوط به رقم صدگان می باشد. بر روی خود دیپ سویچ نیز سویچ شماره ۱ مربوط به LSB و سویچ شماره ۴ مربوط به MSB می باشد. به عنوان مثال برای ساختن عدد 075 وضعیت دیپ سویچ‌ها باید به صورت زیر تنظیم شود:



(۳) اتصال ۳ را قطع کرده و اتصال ۴ را برقرار نمایید. گام (۲) را تکرار کنید.

(۴) اتصال ۴ را قطع کرده و اتصال ۵ را برقرار نمایید. گام (۲) را تکرار کنید.

۵. اندازه گیری مقسم برنامه پذیر

(۱) اتصالات ۲، ۳، ۶، ۷، ۸ و ۱۲ را برقرار نمایید.

(۲) فرکانس های  $U_{10}$  pin4 ( $f_{in}$ )،  $TP_7$  ( $f_{out}$ ) و  $TP_8$  را برای مقادیر مختلف دیپ سویچ مشاهده کرده و در جدول ۵-۹ ثبت نمایید. نسبت  $f_{out}$  به  $f_{in}$  را محاسبه کرده و در جدول ۵-۱۵ ثبت نمایید.

(۳) اتصال ۳ را قطع کرده و اتصال ۴ را برقرار نمایید. گام (۲) را تکرار کنید.

(۴) اتصال ۴ را قطع کرده و اتصال ۵ را برقرار نمایید. گام (۲) را تکرار کنید.

۶. اندازه گیری پاسخ گذرای سنتز کننده فرکانسی

(۱) اتصالات ۲، ۵، ۶، ۷ و ۱۱ را برقرار نمایید.

(۲) اسیلوسکوپ را به  $TP_6$  وصل نمایید. منحنی پاسخ گذرای سنتز کننده فرکانسی را برای هر گونه تغییر در فرکانس ورودی در جدول ۶-۱۵ اندازه گیری و ثبت نمایید. مقدار settling time را برای هر حالت گذرا محاسبه و در جدول ۶-۱۵ ثبت نمایید.

(۳) یک خازن 10uF بین  $TP_6$  و زمین قرار دهید. گام (۲) را تکرار کرده و نتایج را در جدول ۷-۱۵ ثبت نمایید.

## ۱-۱-۲ آزمایش سنتز کننده فرکانسی با مقسم

۱. اتصالات ۲، ۳، ۶، ۷، ۸ و ۱۲ را برقرار نمایید. این اتصالات یک سنتز کننده فرکانسی با مقسم را مطابق با شکل ۴-۹ ایجاد می کند. مقدار  $f_R=0.5kHz$  و  $P=10$  را تنظیم نمایید.

۲. فرکانس سیگنال های OUT،  $U_7$  pin1 و  $U_7$  pin12 را برای مقادیر گوناگون دیپ سویچ در جدول ۸-۱۵ اندازه گیری و ثبت نمایید.

۳. سیگنال  $U_7$  pin1 را با OUT مقایسه کرده و جابجایی فاز سیگنال  $U_7$  pin1 را در جدول ۸-۹ ثبت نمایید.

۴. سیگنال  $U_7$  pin12 را با OUT مقایسه کرده و جابجایی فاز سیگنال  $U_7$  pin12 را در جدول ۸-۹ ثبت نمایید.

۵. اتصال ۳ را قطع کرده و اتصال ۴ را برقرار نمایید. گام ۲ تا ۴ را تکرار کنید.

۶. اتصال ۴ را قطع کرده و اتصال ۵ را برقرار نمایید. گام ۲ تا ۴ را تکرار کنید.

## ۲-۳-۹ آزمایش سنتز کننده فرکانسی با مبدل فرکانسی

۱. اتصالات ۲، ۵، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۳ را برقرار نمایید. این اتصالات یک سنتز کننده فرکانسی با lowering frequency converter را مطابق با شکل ۶-۹ ایجاد می کند. مقدار  $f_L=1MHz$  و  $f_R=0.5kHz$  را تنظیم نمایید.

۲. با استفاده از اسیلوسکوپ فرکانس خروجی اسیلاتور محلی در  $TP_9$  را اندازه گیری نمایید.

فرکانس اسیلاتور محلی ( $f_L$ ) = ...

۳. فرکانس‌های موجود بر روی OUT ( $f_o$ ) و  $U_{11}$  pin5 را برای مقادیر گوناگون دیپ سویچ‌ها اندازه‌گیری کرده و در جدول ۹-۱۵ ثبت نمایید.

۴. فرکانس موجود بر روی  $U_{11}$  pin5 بایستی برابر با فرکانس خروجی منهای فرکانس اسیلاتور محلی  $f_o - f_L$  باشد.

شکل موج	فرکانس	تست پوینت
		TP2
		TP1
		U2 Pin12
		U1 Pin12
		TP4

جدول ۹-۱. اندازه‌گیری فرکانس مرجع

ولتاژ dc ورودی TP6 (V)	شکل موج خروجی و فرکانس OUT (kHz)
0	
0.5	

	1
	1.5
	2
	2.5
	3
	3.5
	4
	4.5
	5
	5.5
	6

	6.5
	7
	7.5
	8
	8.5
	9
	9.5
	10

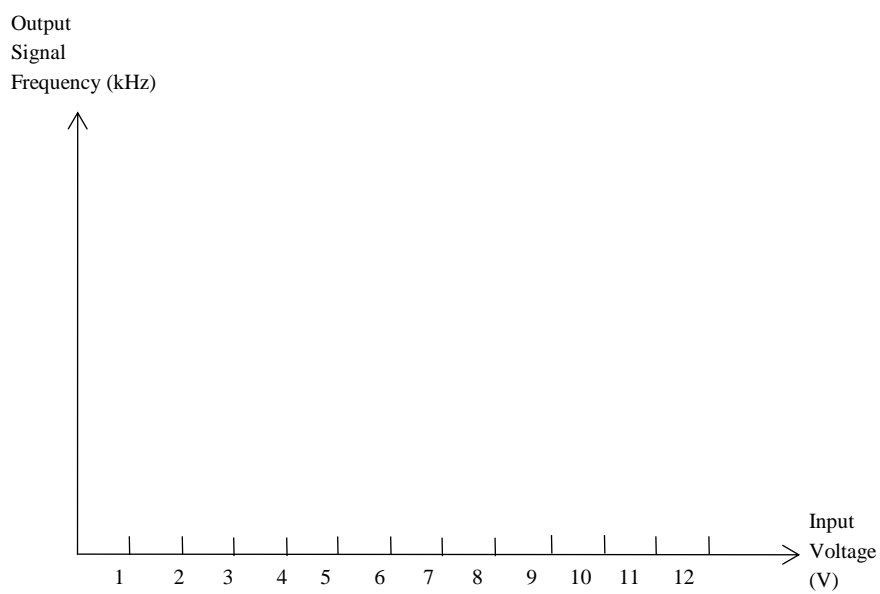
جدول ۹-۲. مشخصه ولتاژ ورودی VCO بر حسب فرکانس خروجی

ولتاژ dc ورودی TP6 (V)	شکل موج خروجی و فرکانس OUT (kHz)
0	
0.5	

	1
	1.5
	2
	2.5
	3
	3.5
	4
	4.5
	5
	5.5
	6
	6.5

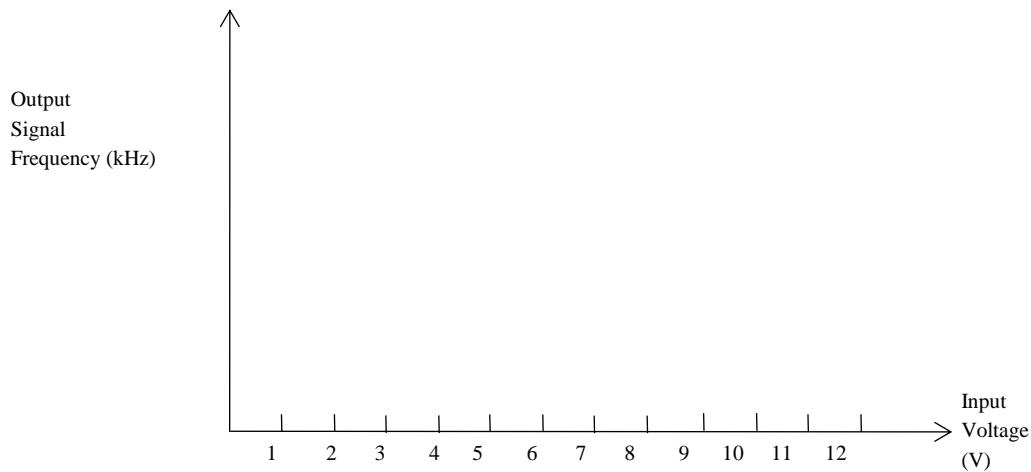
	7
	7.5
	8
	8.5
	9
	9.5
	10

جدول ۹-۳. مشخصه ولتاژ ورودی VCO بر حسب فرکانس خروجی (VR2 وصل است)





شکل ۹-۷. مشخصه فرکانس خروجی بر حسب ولتاژ ورودی



شکل ۹-۸. مشخصه فرکانس خروجی بر حسب ولتاژ ورودی

فرکانس TP4	فرکانس TP8	فرکانس OUT	مقادیر تنظیم شده	اتصال برقرار شده
			005	3
			025	
			045	
			065	
			085	
			100	4

				5
			300	
			500	
			700	
			900	

جدول ۹-۴. فرکانس‌های مقایسه کننده فاز

فرکانس U10 pin4 ( $f_{in}$ )	فرکانس TP7 ( $f_{out}$ )	$f_{in}/f_{out}$ محاسبه شده	فرکانس TP8	مقادیر تنظیم شده	اتصال برقرار شده
					3
				005	
				025	
				045	
				065	4
				085	
				100	
				300	5

				500	
				700	
				900	

جدول ۹-۵. اندازه گیری  $f_{in}/f_{out}$ 

پاسخ گذرا	زمان نشست	فرکانس ورودی (kHz)
		۱۰۰ تا ۲۰۰
		۲۰۰ تا ۳۰۰
		۳۰۰ تا ۴۰۰
		۴۰۰ تا ۵۰۰

		۵۰۰ تا ۶۰۰
		۶۰۰ تا ۷۰۰

جدول ۹-۶. پاسخ گذرای سنتزکننده فرکانسی

پاسخ گذرا	Settling Time	فرکانس ورودی (kHz)
		۱۰۰ تا ۲۰۰
		۲۰۰ تا ۳۰۰
		۳۰۰ تا ۴۰۰
		۴۰۰ تا ۵۰۰
		۵۰۰ تا ۶۰۰

		۶۰۰ تا ۷۰۰

جدول ۹-۷. پاسخ گذرای سنتزکننده فرکانسی (خازن 10uF وصل شده است)

فرکانس OUT	فرکانس و فاز U7 pin1	فرکانس و فاز U7 pin12	مقادیر تنظیم شده	اتصال برقرار شده
				3
			002	
			004	
			010	
				4
			030	
			045	
			055	
				5
			065	
			075	
			085	
			095	

جدول ۹-۸. سنتز کننده فرکانس با مقسم

فرکانس OUT	فرکانس U11 pin5	مقدار تنظیم شده
		300
		301
		302
		303
		304
		305
		306
		307
		308
		309
		310
		311
		312
		313

جدول ۹-۹. سنتز کننده فرکانس با مبدل فرکانس