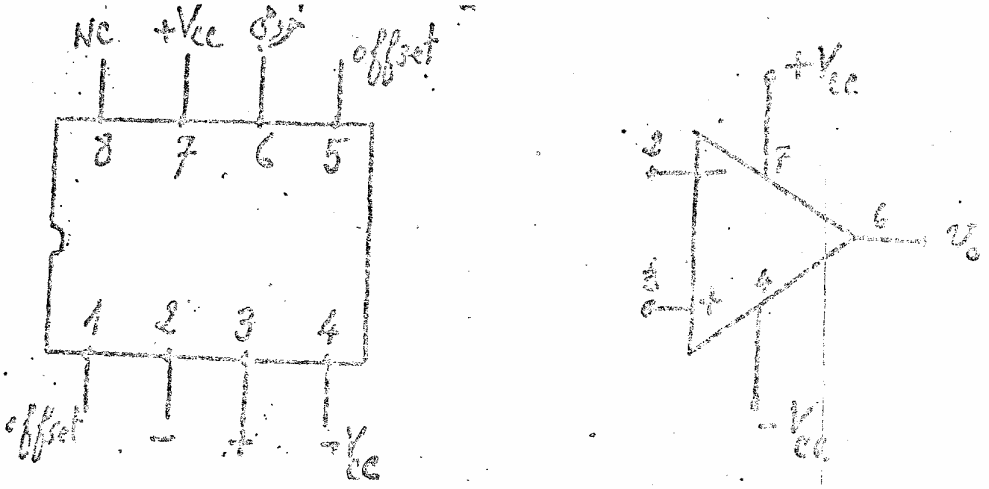
آزمایشگاه الکترونیک ۴

آزمایش شماره ۱ — اندازه‌گیری مشخصات اصلی تقویت کننده های عملیاتی*

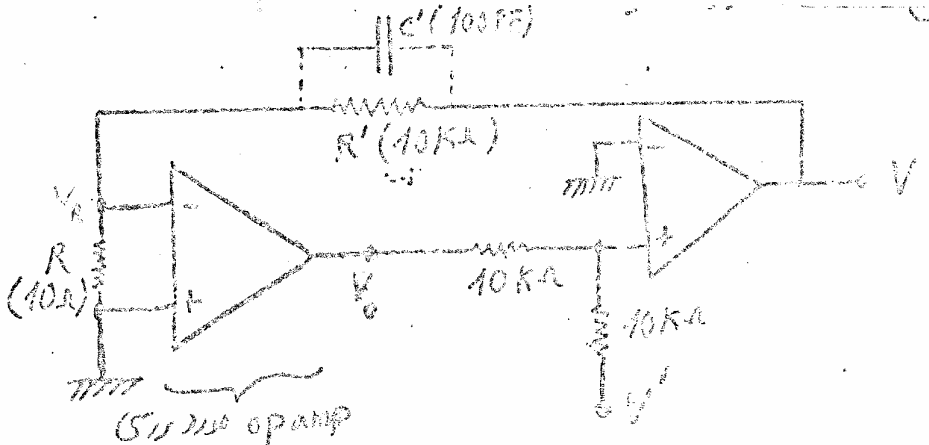
هدف از این آزمایش اندازه‌گیری مشخصات اصلی یک تقویت کننده عملیاتی، نظیر بهره ولتاژ مدار باز، ولتاژ "افست" فرکانس قطع وضریب Slew Rate میباشد. (به دروس مربوطه مراجعه شود).

Op.Amp مورد بررسی از نوع 741 (نظیر LM741، CA741، MC1741) میباشد که شمای داخلی آن همراه با مشخصات حدی، ترمینالهای خروجی و پارامترهای اصلی آن در برگهای ضمیمه داده شده است. توصیه میشود که قبل از شروع آزمایش، این اطلاعات را مورد بررسی قرار بدهید. وضعیت ترمینالهای این Op.Amp دراینجا یادآوری میشود.



۱- تعیین A_{OS}، بهره ولتاژ مدار باز (یا Open Loop Voltage Gain) و ولتاژ افست (Voffset)

همانطوریکه مشهود است بعلت بهره ولتاژ بسیار بالا، وجود انحراف یا ولتاژ "افست" وتغییرات حرارتی آن، اندازه‌گیری مستقیم A_{OS} عملی نیست. جهت این اندازه‌گیری، Op Amp مورد نظر را درمدار زیر قرار می‌دهیم که درآن Op Amp دوم بمنزله Buffer عمل می‌نماید (این Op Amp) می‌تواند ازنوع 741 ویا هرنوع دیگری باشد ولزومی به یکسان بودن Op Amp ها نیست).



(خطوط منابع تغذیه $+V_{cc}$ دراین شکل مشخص نشده‌اند). مقاومتها را تا حد امکان دقیق انتخاب کنید.

الف) 'V را مساوی صفر قرار میدهیم (V به زمین). بعلت حلقه فیدبک بین دو تقویت کننده و جریانهای ورودی ضعیف Op Amp شماره ۲، نتیجه می‌گیریم : $V_D \approx 0$ ولذا :

$$V_R \approx V_{offset} \approx V_{os}$$

وبرای اندازه‌گیری دقیقتر کافی است ملاحظه کنیم:

$$V_{offset} = V_R = V_1 \frac{R}{R+R'} \approx \frac{V_1}{1000}$$

منظور از V_1 ولتاژ فعلی V است. (جریانهای ورودی Op Amp مورد بررسی دراینجا اثر قابل صرفنظرکردن دارند).

ب) حال به 'V مقدار V 10- را میدهیم (بوسیله یک منبع تغذیه کمکی). دراینصورت $V_D \approx +10V$ ولذا :

$$V_R = V' + V^{offset} = V' \frac{R}{R+R'} \approx \frac{V_2}{1000} = \frac{V_o}{G_o} + V^{offset}$$

منظور از V_2 ولتاژ V دراینحالت دوم است.

از تفریق (۲) و(۱) نتیجه می‌گیریم :

$$\frac{V^o}{G_o} = \frac{V_2 - V_1}{1000}$$

ویا :

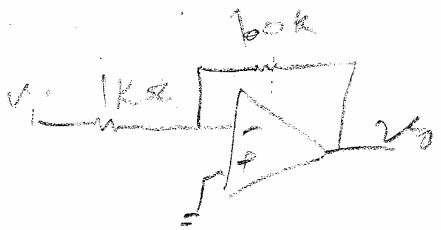
$$G_o = \frac{1000 V_o}{V_2 - V_1} = \frac{10^4}{V_2 - V_1}$$

۲ - تعیین فرکانس قطع Op Amp در مدار باز (Open Loop)

مداری با بهره ولتاژ $G_v = -100$ بسته فرکانس قطع آنرا تعیین کنید (f_c)

فرکانس قطع خود Op Amp خواهد بود:

$$(f_c)_{op.Amp} \approx \frac{100}{G_o} f_o$$

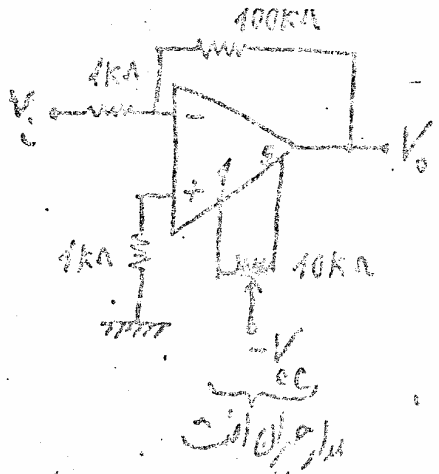


تبصره ۱ – اندازه گیری مجدد ولتاژ "افست" – درتقویت کننده فوق.

انحراف ولتاژ خروجی را (با ورودی صفر) اندازه گیری کرده ازآنجا مجدداً تخمین از ولتاژ افت را بدست آورید.

$$V_{offset} = \frac{(V_o)_{\text{انحرافی}}}{1+K} = \frac{(V_o)_{\text{انحرافی}}}{100}$$

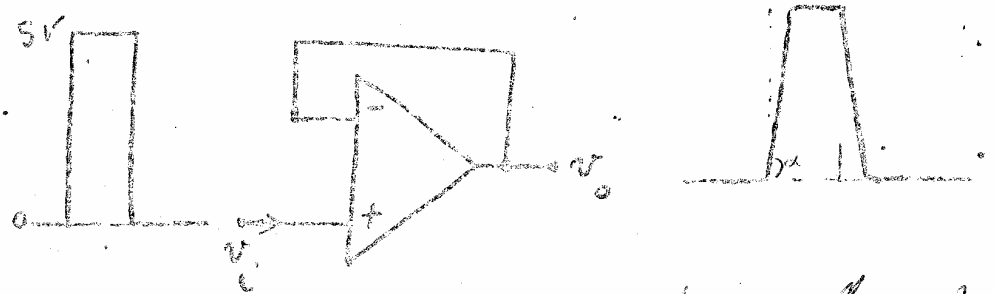
تبصره ۲ – در Op Amp نوع 741 میتوان با مونتاژ زیر انحراف خروجی را جبران نمود. نتیجه را بررسی نموده ومنجمله اثر حرارتی را تخمین بزنید:



مدار جبران افت

۳ – تعیین ضریب S (Slew Rate) ، یا حداکثر سرعت تغییرات درخروجی)

الف) ورودی پالس – مدار زیر را (با بهره ولتاژ یک) بسته پالس به دامنه 5V در ورودی آن برقرارکنید. با بررسی زمانی موج خروجی Op Amp، ضریب Slew Rate را بصورت V/μ^S اندازه گیری نمائید.



$$\text{slew rate} = \frac{dv_o}{dt} = \text{slope} = tg\alpha$$

از نظر مقایسه، میتوانید بجای 741، یک Op Amp سریعتر را مورد تست قرار دهید (نظیر LH0024)

ب) ورودی سینوسی - با سینوسی به دامنه 5V و به فرکانس 100 KHz آزمایش را تکرار کرده موج خروجی را بررسی نمائید.

آزمایشگاه الکترونیک ۳

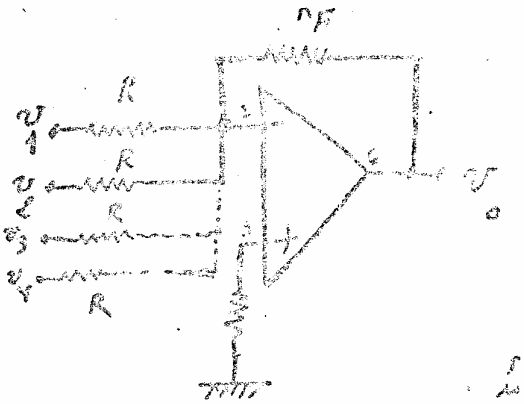
آزمایش شماره ۲ کاربردهای خطی تقویت کننده‌های عملیاتی

در این آزمایش برخی از کاربردهای خطی تقویت کننده‌های عملیاتی مورد مطالعه قرار میگیرد.

۱- مدار جمع کننده[1]*

*- Summer

سیگنالهای ورودی V1 و V2، میتوانند DC یا AC باشند.



الف) دو سیگنال V1 و V2 یکی پالس و دیگری سینوسی را جمع نموده موج حاصل در خروجی V0 را مطالعه نمائید.

ب) دو سیگنال سینوسی به فرکانسهای F1 و F2 را جمع نموده و با نزدیک کردن f2 به f1، اثر تداخل دو موج (وپدیده ضربان) را بررسی کنید.

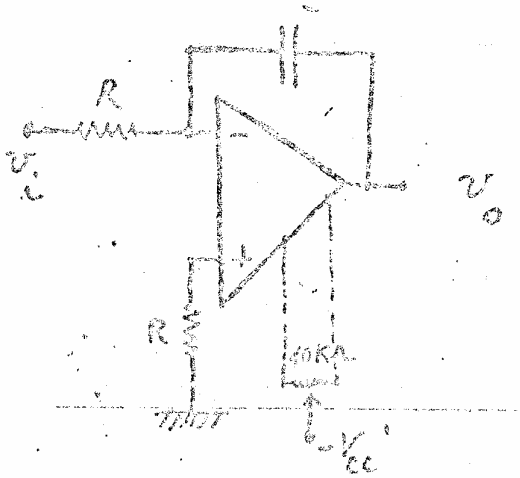
تبصره – موج حاصل در خروجی از نوع مدولاسیون دامنه نمیباشند.(چرا؟).

۲– مدار انتگرال گیر (انتگراتور)[1]**

$$V_o = -\frac{1}{RC}\int V_i(t)\,dt$$

اثر فرکانس را مطالعه کنید.

همچنین اثر Offset را آزمایش نموده و مدار جبران را بکاربرید.



** Integrator

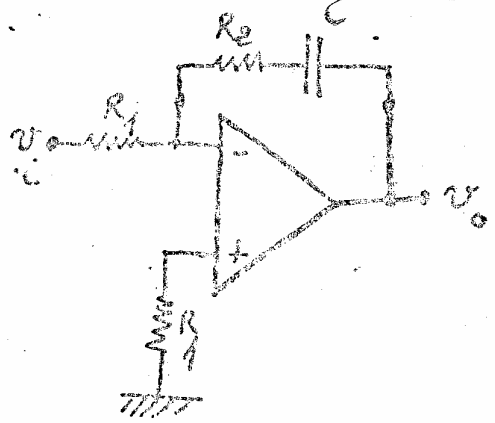
۴- مدارهای PI و PID

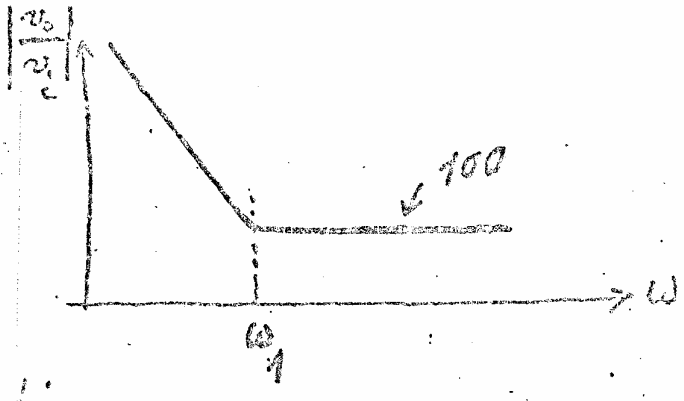
در کنترل سیستمها غالباً لازم میگردد که از سیگنال خطا، علاوه بر تقویت معمولی، انتگرال نیز گرفته شود بدینترتیب اگر E سیگنال خطا باشد(اختلاف بین وضعیت فعلی و وضعیت مطلوب سیستم) سیگنال فرمان یا خروجی مدار خواهد بود:

$$V_o = K\varepsilon + K'\int \varepsilon\, dt$$

شامل یک ترم متناسب با E (Proportional یا P) ویک ترم متناسب با انتگرال سیگنال خطا (Internal یا I).

مدار زیر یک نمونه از مدارکنترل PI را نشان میدهد که مشخصه فرکانسی آن بصورت زیر است:

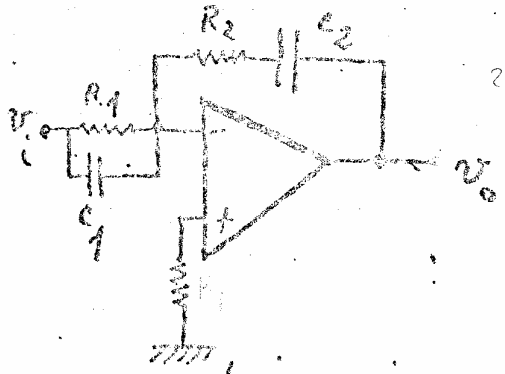


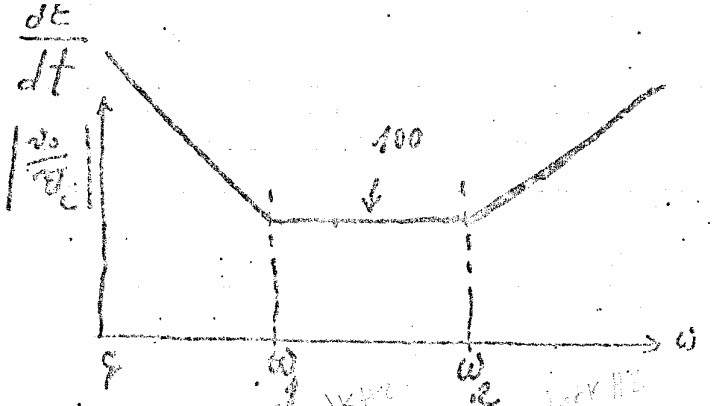


مدار برای $F_1=\frac{\omega_1}{2\pi}=100$ Hz طرح کرده وآزمایش کنید.

در مدارکنترل PID سیگنال فرمان یا خروجی صورت زیر را دارد:

$$v_o = K\varepsilon + K'\int \varepsilon\, dt + K''\frac{d\varepsilon}{dt}$$





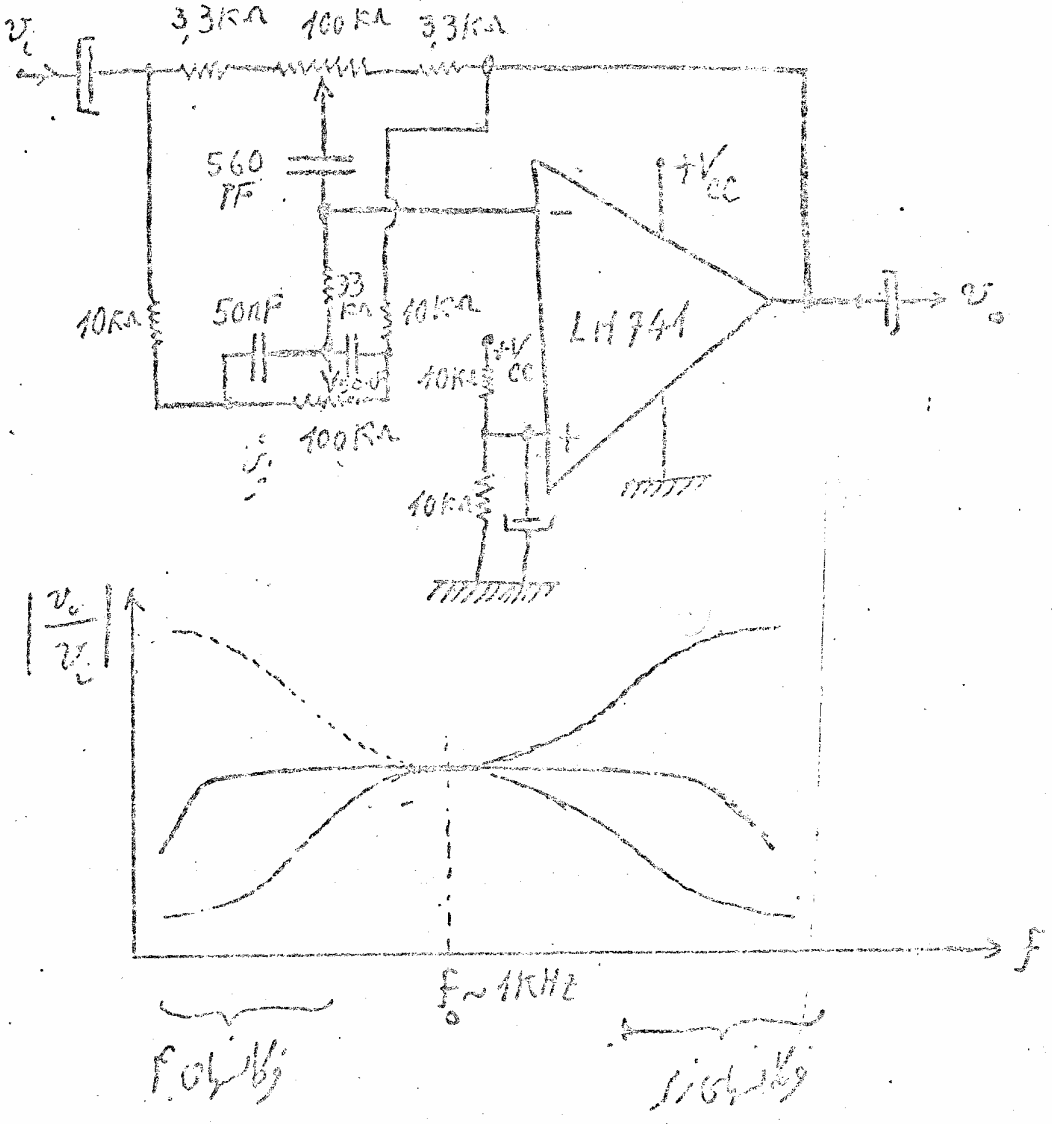
* Proportional - Integral

* * Proportional - Integral - Differentiator

یک مدار کنترل کننده PID برای $f_1 = 100$ KHz و $f_2 = 1$KHz طرح کنید.

۴- تقویت به Op Amp یا یک منبع - مدار تصحیح صوتی[1]*

ابتدا سطوح ولتاژ DC ورودیها و خروجی را کنترل کنید.



تصحیح صوتی را ابتدا بکمک ورودی سینوسی بررسی نمائید.

ممین بررسی را با سیگنال پالس به فرکانس تقریبی f=1KHz انجام داده ونتیجه گیری کنید.

* - Tone Control

۵- مدار حل معادلات دیفرانسیل خطی (اختیاری)

مدار حل یک معادله دیفرانسیل خطی (مثلاً مرتبه ۲) را بکمک تعدادی Op Amp طرح کرده ونتیجه را گزارش کنید.

آزمایشگاه الکترونیک ۳

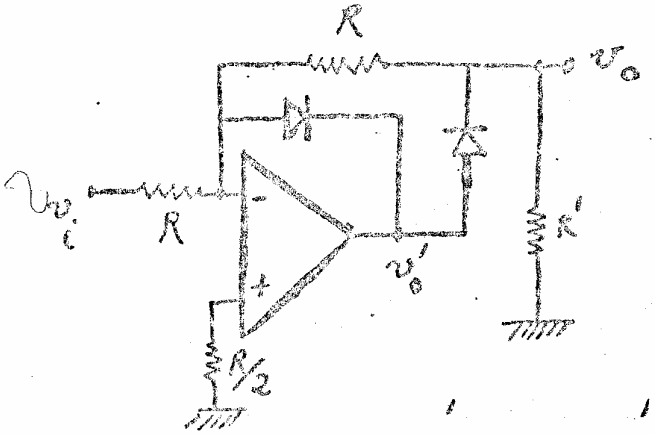
آزمایش شماره ۳ — برخی از کاربردهای غیرخطی تقویت کننده‌های عملیاتی

دراین آزمایش پاره‌ای از کاربردهای غیرخطی Op Amp مورد بررسی قرار میگیرد. دراین مورد به جزوات وکتب مربوط به تقویت کننده‌های عملیاتی در رژیم غیرخطی مراجعه شود.[1]*

۱- مدار یکسوساز ایده‌آل

الف) یکسوسازی یک آلترناتس

با ورودی DC، مشخصه $V_o=f(V_i)$ و همچنین V'_o را بررسی کنید.



سپس عمل یکسوسازی را با ورودی سینوسی مشاهده کرده و حد نیمه سیگنالهای قابل قبول را اندازه‌گیری نمائید.

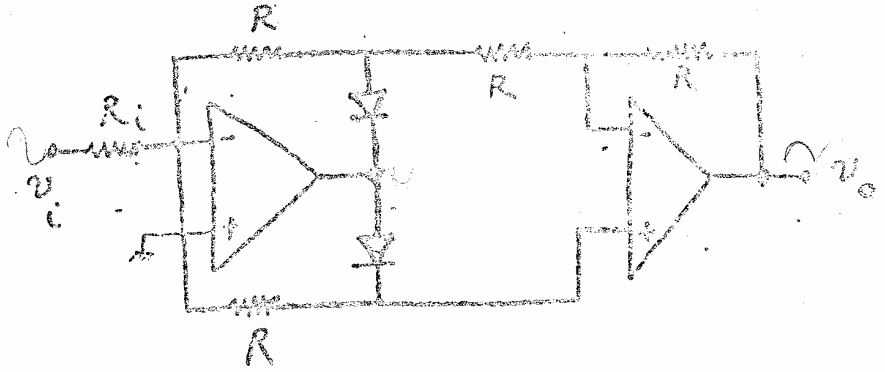
---

*- مطالب کتاب "Introduction to Operational Amplifier Theory and Application",Wait-Huelsman

وبا جزوه "کاربردهای غیرخطی تقویت‌کننده‌های عملیاتی" (محمد رییس)

ب) یکسوسازی دو آلترناتس

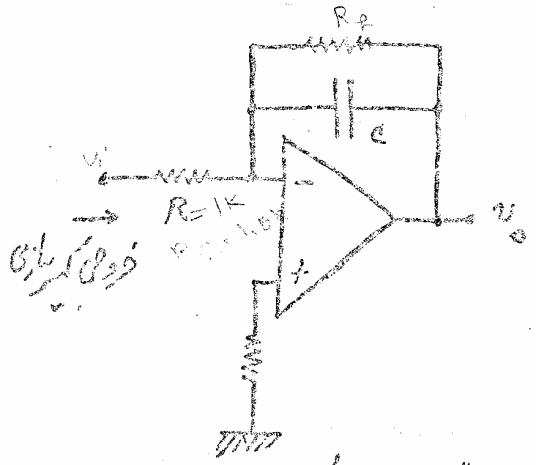
تحقیق کنید که مدار زیر عمل یکسوسازی دو آلترناتس را انجام میدهد:



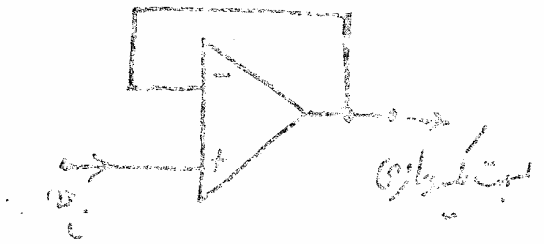
حد فرکانس کار نهائی مدار را مشخص کنید (منجمله با سیگنالی قوی در ورودی محدودیت ناشی از Slew Rate را بررسی نمائید).

۲- طراحی میلی ولتمتر AC

با استفاده از مدارهای فوق (و یا بکمک نوع دیگری از مدار قدر مطلق که درقسمت ۳ بررسی خواهد شد)، یک میلی‌ولتمتر AC جهت اندازه گیری ولتاژ موثر سیگنالهای سینوسی طرح وتنظیم کنید. دراین مورد کافی است که فیلتر پائین گذر برطبق مثل زیر به خروجی اضافه شده واحتمالاً یک مدار افزاینده امپدانس ورودی به ورودی سیستم نیز اضافه گردد.



"فیلتر پائین گذر"



"مدار ورودی ولتمتر جهت کسب امپدانس ورودی بالا"

تبصره ۱- با انتخاب R≫R در فیلتر پائین گذر، میتوان سیگنال مورد اندازه‌گیری را تقویت نیز نمود.

تبصره ۲- خروجی فیلتر پائین‌گذر به یک ولتمتر DC آنالوگ یا دیجیتال متصل میشود. همچنین میتوان یک مبدل ولتاژ

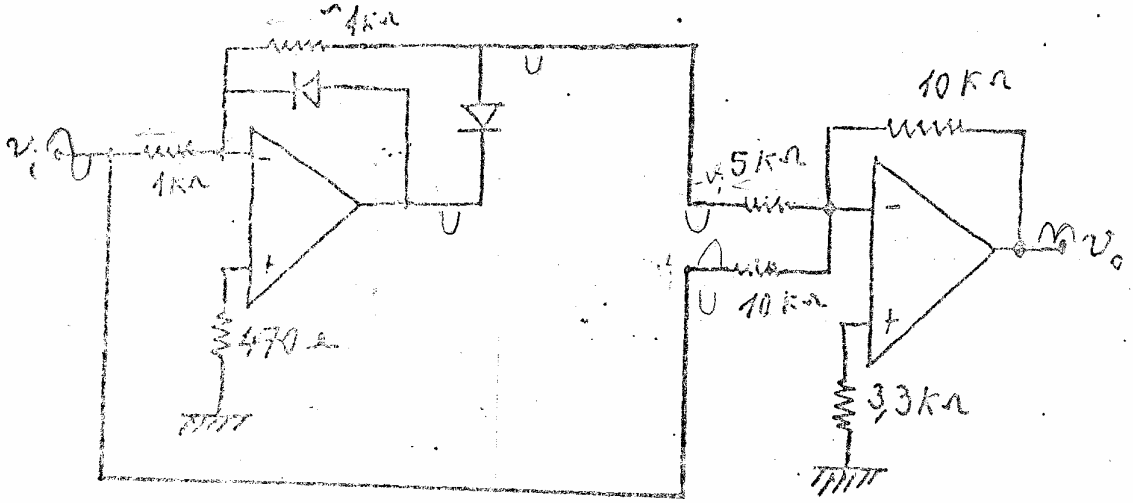
به جریان در خروجی قرار داده جریان حاصل را بوسیله گالوانومتر اندازه گیری نمود. با اطلاعات فوق یک میلی ولتمتر AC با مشخصات عمومی زیر طرح کنید:

Z_I = امپدانس ورودی 1 MΩ

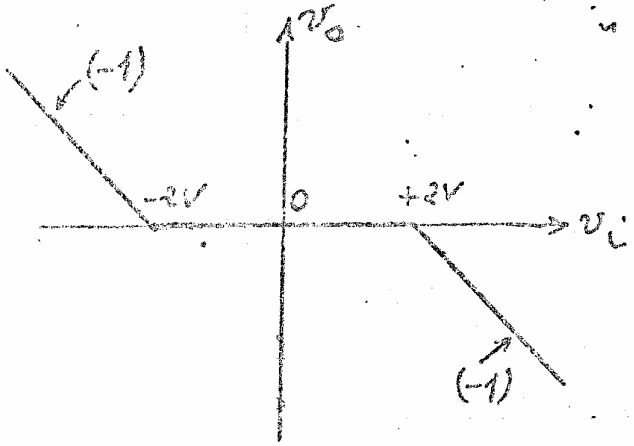
$(f)_{min} \approx$ 10HZ

۳- مدار قدر مطلق

مشخصه مدار را ابتدا با ورودی DC وسپس با سیگنال AC کنترل کنید.

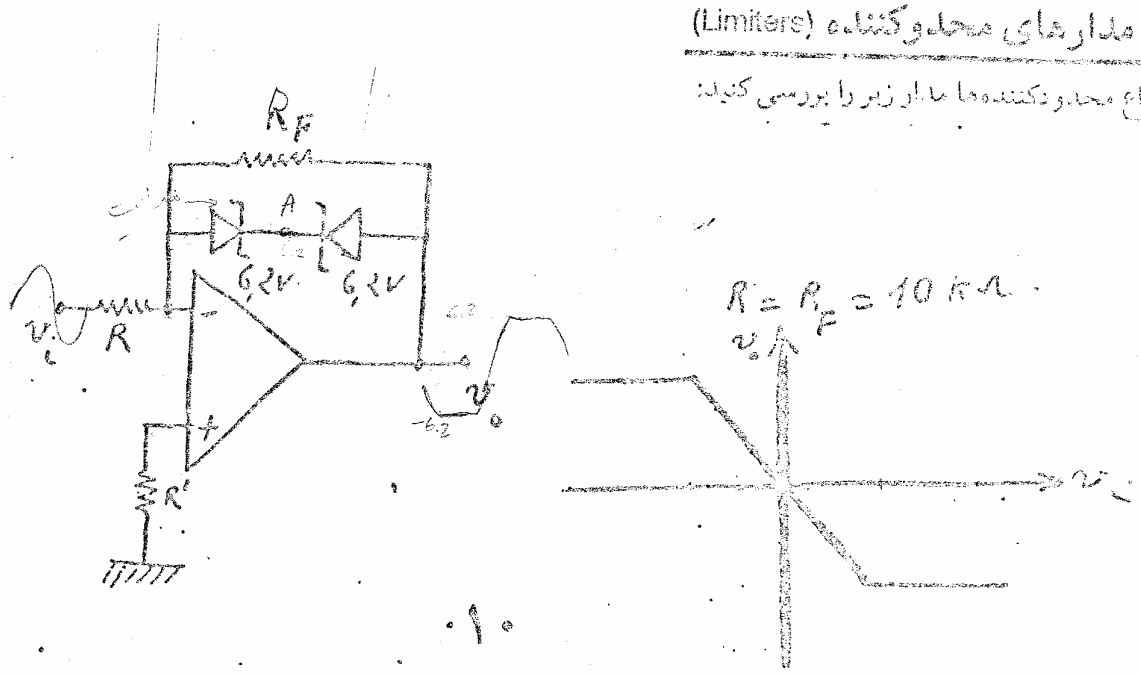


۴- مداری طرح کنید که مشخصه زیر را ایجاد نماید:



۵- مدارهای محدودکننده (Limiters)

از انواع محدودکننده‌ها مدار زیر را بررسی کنید:

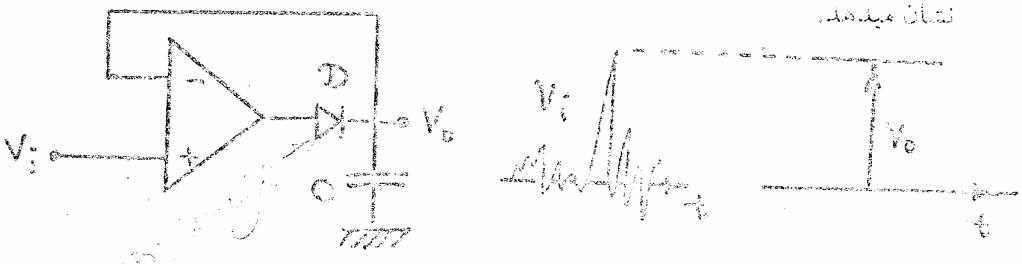


۶- مدار تعیین کننده حد ماکزیمم یک سیگنال (Peak Detector)

مدار مقابل را مونتاژ کرده تحقیق کنید که V_o مقدار ماکزیمم V_i را نشان میدهد. محدودیتهای مدار را ازنظر سرعت بررسی کنید.

دیود D را ازنوع جریان معکوس بسیار ضعیف انتخاب کنید.

با انتخاب $C=100\ \mu F$ و با اعمال یک سیگنال پارازیتی در V_i تحقیق کنید که V_o قویترین دامنه اغتشاشات ورودی را نشان میدهد.



تبصره - مداری جهت تخلیه دوره‌ای C پیشنهاد کنید.

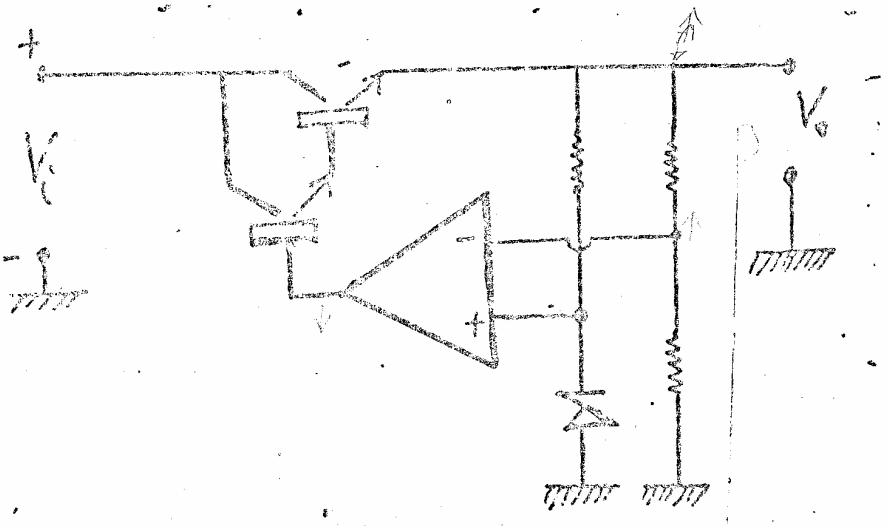
آزمایش شماره ۴

طرح و تنظیم منابع تغذیه تثبیت شده و سیستم حفاظت الکترونیکی آن

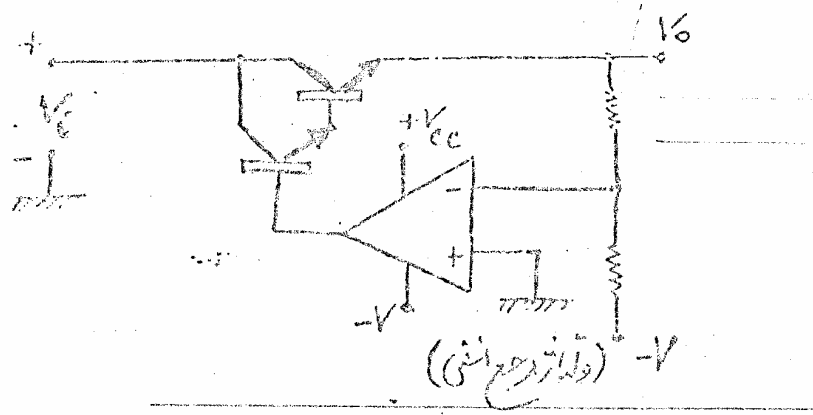
هدف از این آزمایش آشنائی با منابع تغذیه تثبیت شده بااستفاده از تقویت کننده‌های عملیاتی به‌منزله مقایسه کننده و همچنین بررسی مدارهای حفاظتی نظیر محدودکننده‌های جریان ویا قطع جریان در قبال بارهای غیرمجاز است.

اصول کلی

تقویت کننده عملیاتی دراینجا رل مقایسه کننده خطی را بازی میکند که یکی از ورودیهای آن به ولتاژ مرجع ثابت وديگری به نمونه‌ای از ولتاژ خروجی متصل است. سیگنال خطای تقویت شده درخروجی Op.Amp به یک ترانزیستور سری ویا به یک مدار دارلینگتون فرمان داده ولتاژ خروجی راکنترل می‌کند.(۱)*



بمنظور تنظیم ولتاژ خروجی و منجمله امکان تغییر آن بین صفر الی ولتاژ ماکزیمم V_o لازم است که تغذیه Op Amp با دومنبع + و - صورت گرفته و همچنین ولتاژ خروجی با یک ولتاژ مرجع منفی مورد مقایسه قرار گیرد.



* جهت بررسی بیشتر به کاربردهای خطی تقویت کننده‌های عملیاتی و همچنین به مبحث منابع تغذیه (الکترونیک ۲) مراجعه شود.

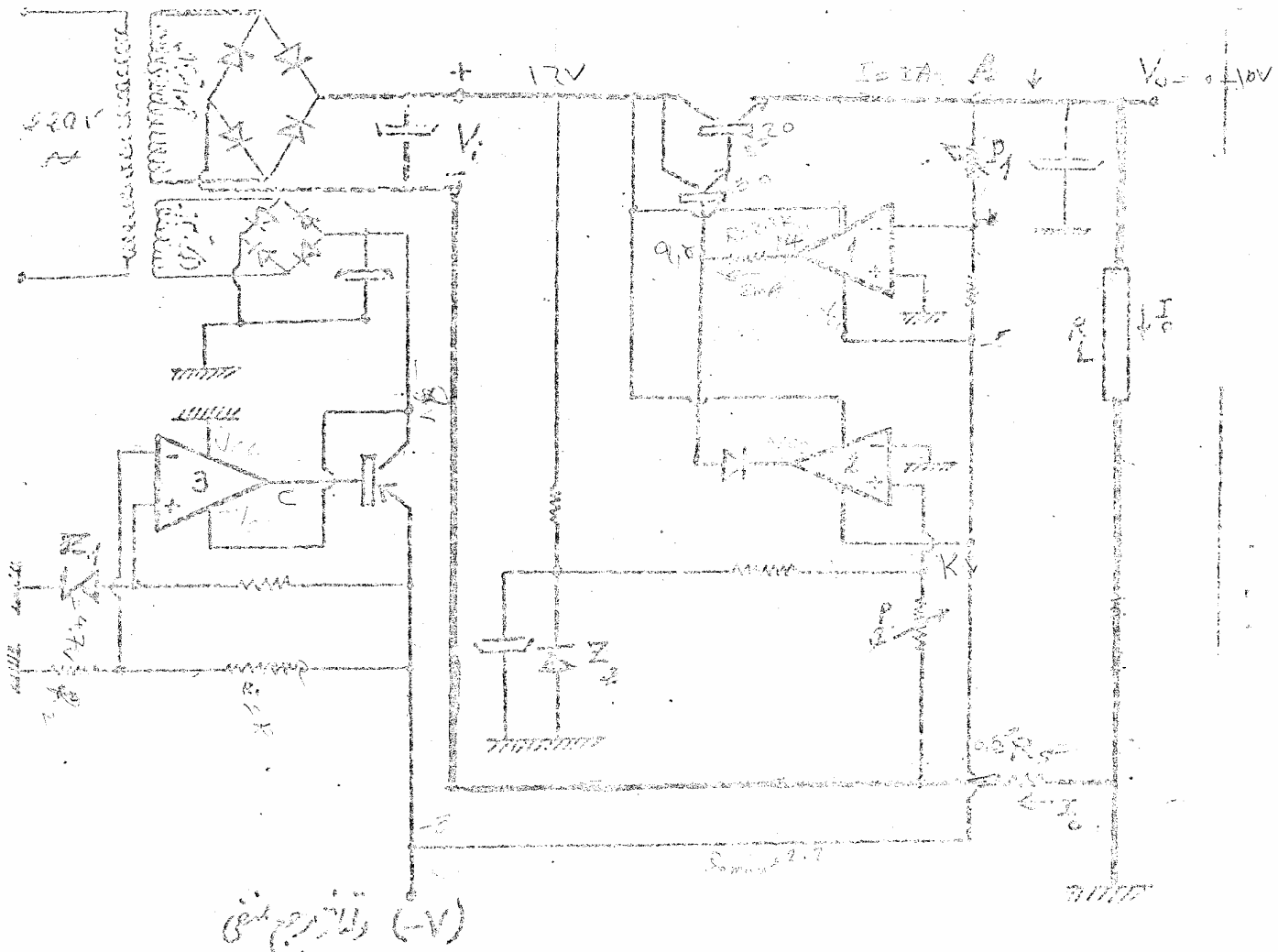
در عمل برای ایجاد ولتاژ مرجع (۷-)، از یک ثانویه فرعی در ترانسفورماتور تغذیه استفاده میشود که پس از یکسوسازی، بوسیله یک دیود زنر و یا بهتر بتوسط یک Op.Amp کمکی این ولتاژ مرجع (۷-) را تهیه مینماید. این مدار باید از تغییرات حرارتی مطلوبی نیز برخوردار باشد).

مدار محدود کننده جریان

یک مقاومت خیلی کوچک R_s در مسیر جریان خروجی I_o قرارداده میشود. ولتاژ دو سر این مقاومت (که متناسب با I_o است) به یک مدار ترانزیستوری، فرمان داده مرجب محدود نگهداشتن جریان خروجی میگردد.

برای دقت بیشتر، میتوان این ولتاژ را با یک ولتاژ مرجع ثابت مورد مقایسه قرارداده از طریق یک تقویت کننده عملیاتی جریان خروجی را محدود نمود(به شکل صفحه بعد، مراجعه نمائید).

در زیر سه مثال از طرحهای گوناگون منابع تغذیه معرفی میگردد. درمورد هریک، از سه طرح پیشنهادی، مطالعات زیر باید قبل از آزمایش انجام گیرد:



- بررسی طرز کار کامل مدار

- محاسبات لازم جهت کسب ولتاژ و جریان خروجی ماکزیمم پیشنهادی

- تخمین ضرائب تثبیت مدار (S_T, S_V, S_I)[1]* بااستفاده از مشخصات Op Amp

مثال ۱

مدار فوق را جهت مشخصات عمومی زیر طرح کنید. (Vi:حداقل 12v با بار 2A میباشد).

- ولتاژ خروجی Vo بین صفرالی 10v (قابل تنظیم بوسیله P1)

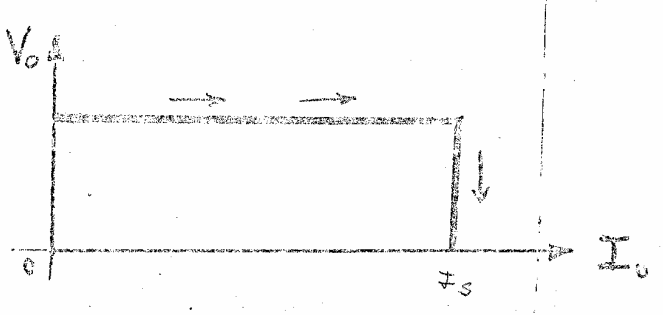
- جریان خروجی ماکزیمم : 2A

- جریان حدی قابل تنظیم (بتوسط P2) بین صفر الی 2.2A

- ولتاژ (-V) مرجع را در حد تقریبی (-6V) تنظیم کنید.

- مقاومت Rs را برابر 0.5 Ω (2W) فرض میکنیم:

پس از مونتاژ مدار وتنظیم آن، تحقیق کنید که مشخصه ولتاژ خروجی برحسب جریان خروجی بصورت زیر میباشد:



توجه مهم – بعلت افت ولتاژ در خطوط ارتباطی Io (خطوط ضخیم درنقشه مدار)، توصیه میگردد که ولتاژ خروجی را بوسیله یک ولتمتر دیجیتال بحد کافی دقیق درمجاورت مقایسه کننده (Op-Amp1) اندازه گیری کنید (مثلاً بین نقطه A وترمینال مثبت Op-Amp1).

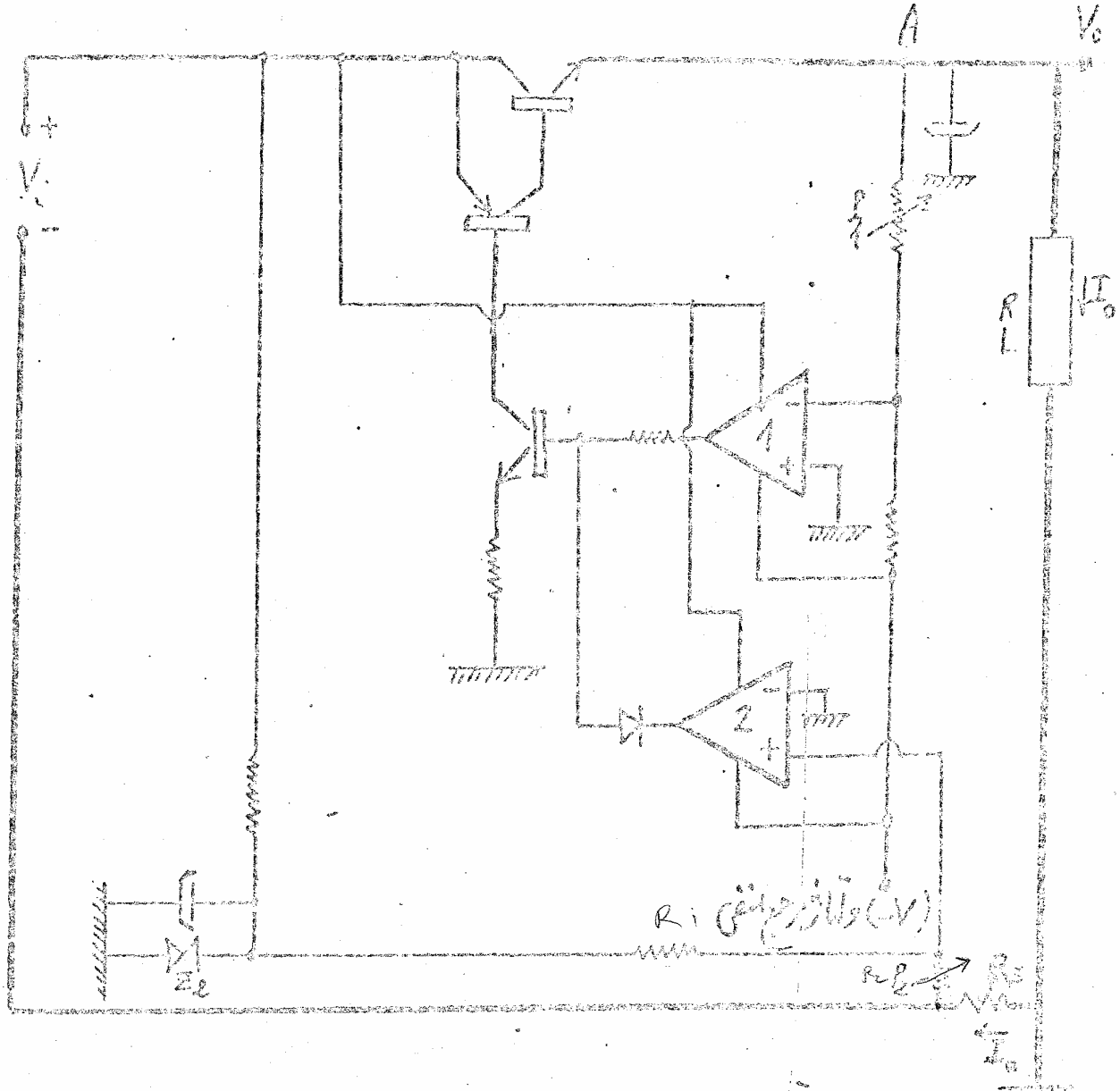
ضرائب S_I و S_V و S_T را اندازه گیری کنید (تخمین)

جهت تثبیت حرارتی دقیقتر چه مداری پیشنهاد میکنید؟

---

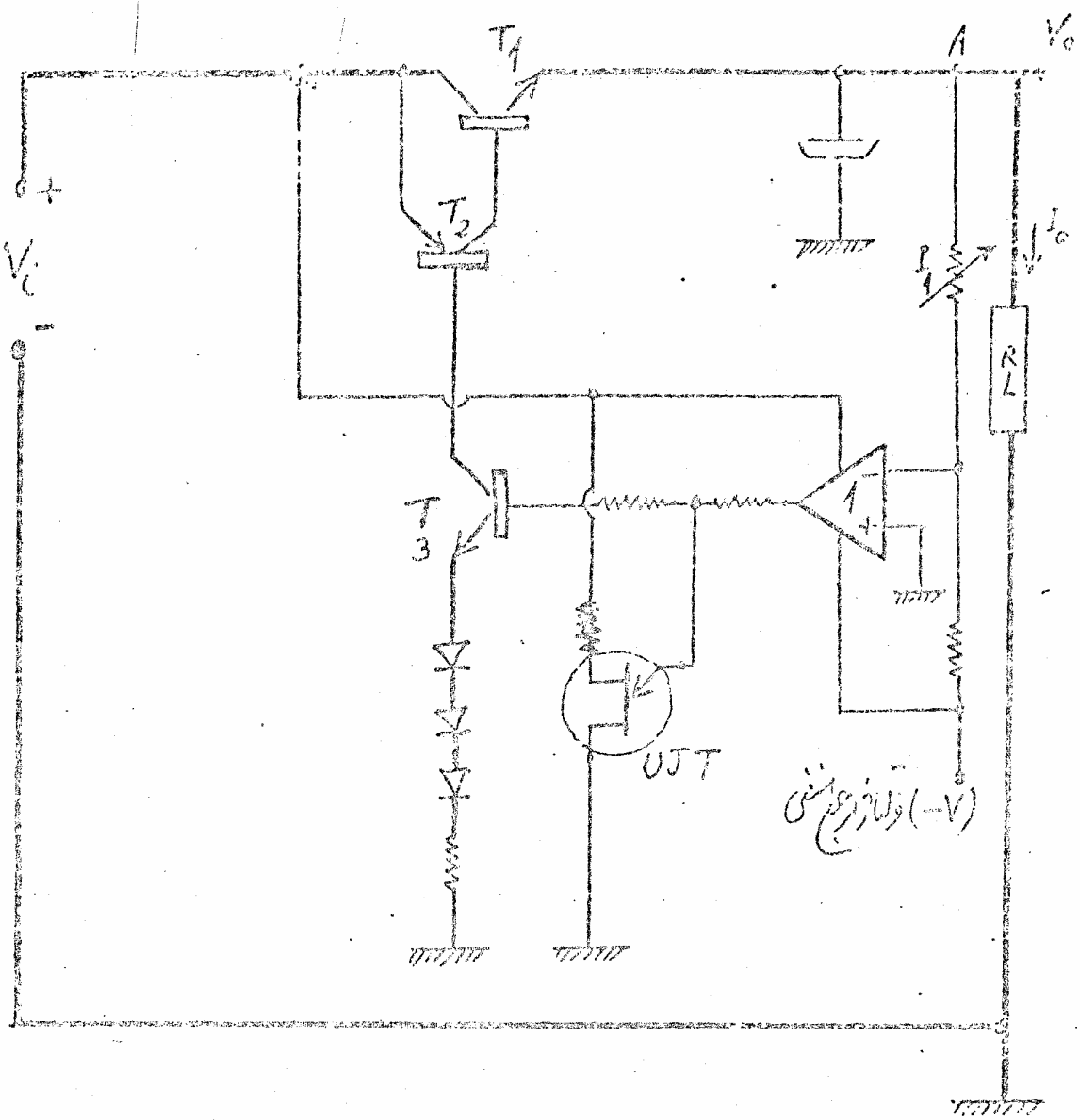
* ر.ک. منابع تقابه تثبیت شده (الکترونیک ۲) مراجعه شود.

مثال ۲



سایر مشخصات این طرح مشابه مثال (۱) است.

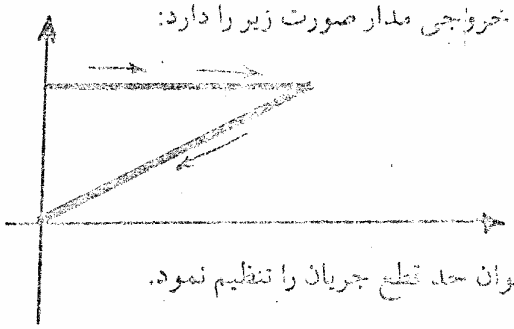
مثال ۳ - مدار قطع کننده جریان در حالت بار غیر مجاز



با پیش جریان خروجی از حد مجاز ($i_o=2A$) موجب بالا رفتن کامل ولتاژ خروجی op.Amp و درنتیجه راه‌اندازی UJT میگردد. این امربنوبه خود موجب قطع T3 ولذا قطع T2 و T1 وقطع جریان خروجی میشود. جهت راه‌اندازی مجدد مدار باید بار R را موقتاً از مدار خارج نمود.

ولتاژ مرجع منفی مشابه مثال (۱) ایجاد میشود. سایر مشخصات و اندازه گیری ها نیز مشابه مثال (۱) است (به استثنای مقدار مقاومت که بجای آن دراینجا یک مدار قطع کنندهٔ جریان وجود دارد)

تحقیق کنید که مشخصه ولت - آمپر خروجی مدار صورت زیر را دارد:



مداری پیشنهاد کنید که بوسیله آن بتوان حد قطع جریان را تنظیم نمود.

آزمایشگاه الکترونیک ۳

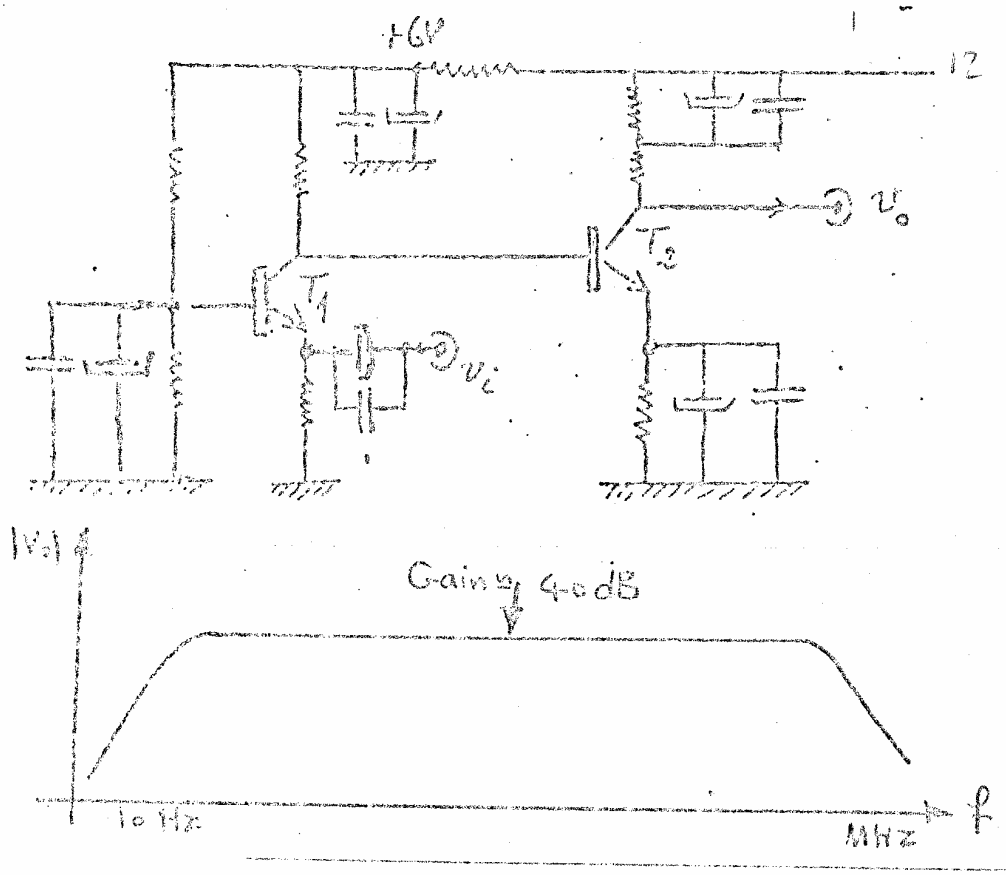
آزمایش شماره ۵ – طرح و تنظیم تقویت کننده‌های باند عریض (۱)* یا Video

هدف از این آزمایش طراحی و تست یک تقویت کننده باند عریض (از فرکانسهای نزدیک صفر الی چندین MHz) با استفاده از ترانزیستورهای فرکانسی بالاست. جهت آشنائی با مبانی تئوری لازم به جزوات و کتب الکترونیک مربوط به این زمینه مراجعه شود.

اصول طرح شماره ۱

مدار پیشنهادی یک، تقویت کننده Video دو طبقه با بهره ولتاژ $G_v=100$ (40 db) در باند فرکانس 10Hz-MHz و به امپدانس ورودی $Z_i=50\ \Omega$ است.

بدین منظور طبقه ورودی ازنوع پایه مشترک (CB) وخروجی امیترمشترک (CE) است. تغذیه طبقه ورودی را با 6v وطبقه دوم را با 12v در نظر میگیریم. شکل زیر اصول این طرح را نشان میدهد که درآن T1وT2 ترانزیستورهای از نوع فرکانس بالا میباشند.



*- Wide Band Amplifiers

عملیاتی که قبل از شروع آزمایش باید صورت گیرد.

ابتدا بکمک کاتالوگ‌های آزمایشگاه، ترانزیستورهای HF لازم را (ازبین ترانزیستورهای موجود) انتخاب کنید. باتوجه به مشخصات ترانزیستورهای فرق تقویت کننده Video را طرح و محاسبه نمائید.

عملیاتی که درآزمایشگاه باید صورت گیرد

پس از معرفی طرح پیشنهادی (وبه صورت احتمالی) مدار را مونتاژکرده ، مشخصات امپدانس ورودی و بهره ولتاژ (در فرکانسهای متوسط) و پهنای باند را تعیین کنید. همچنین ماکزیمم سیگنال خروجی و حساسیت ورودی را تعیین کنید.

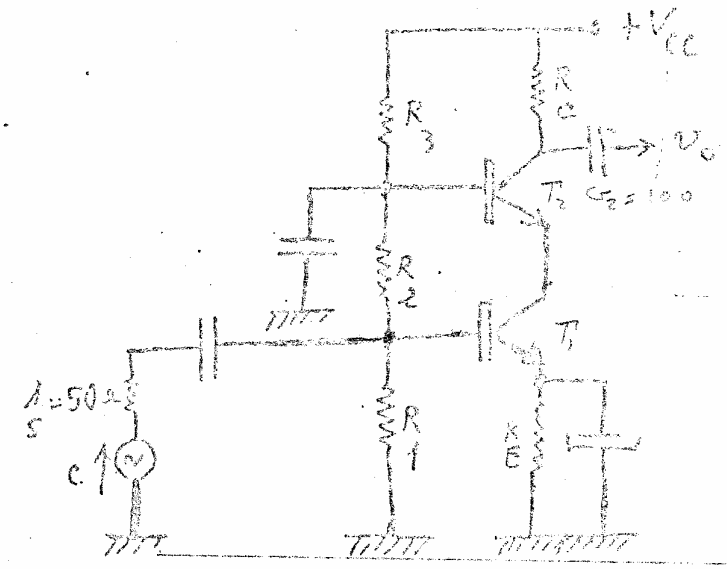
تبصره ۱ - در تعیین فرکانس قطع مدار اثرات دستگاههای اندازه‌گیری (اسیلوسکوپ) را ارزیابی و در صورت لزوم تصحیح کنید (در هرحال در صورت امکان از Probes های مخصوص استفاده کنید).

تبصره ۲ - با استفاده از طرح تقویت کننده‌ای با DC (نظیر تقویت کننده اختلاف [1]*) وبکمک ترانزیستورهای فرکانس بالا میتوان باند فرکانس را تاحضر گسترش داد (طرح تقویت کننده‌های Video بصورت IC مدارهای مجتمع طرح شماره ۳).

طرح شماره ۲ طرح Cascode

مدار بکاررفته یک ترکیب Cascode است که مشخصات مورد نظر آن بشرح زیراند.

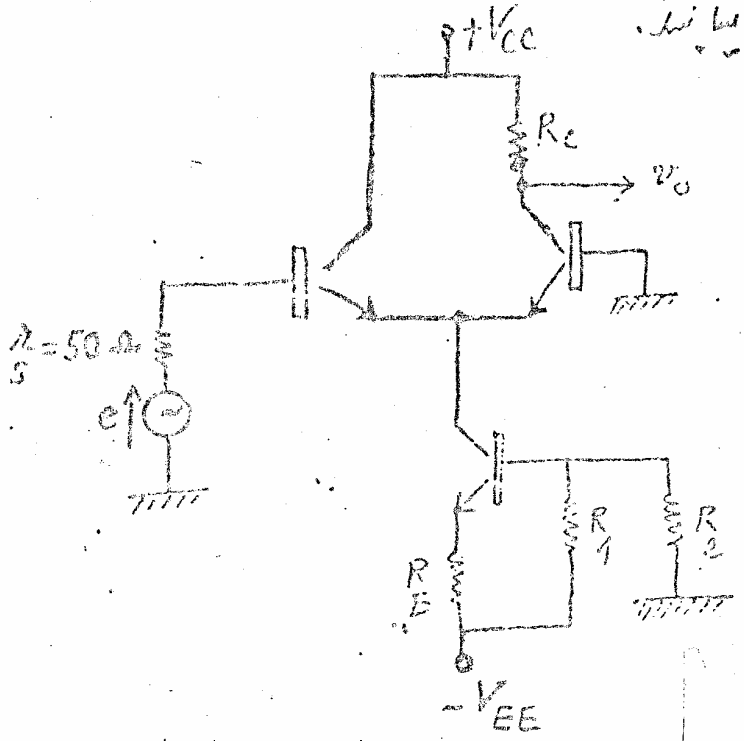
$G_o \approx 100$ $\quad f_c \approx 10$ MHz



* - Differential Amplifier

طرح شماره ۳ - تقویت کننده اختلاف (یا امیتر متصل)

مشخصات مورد لزوم مشابه طرح شماره ۲ میباشد.



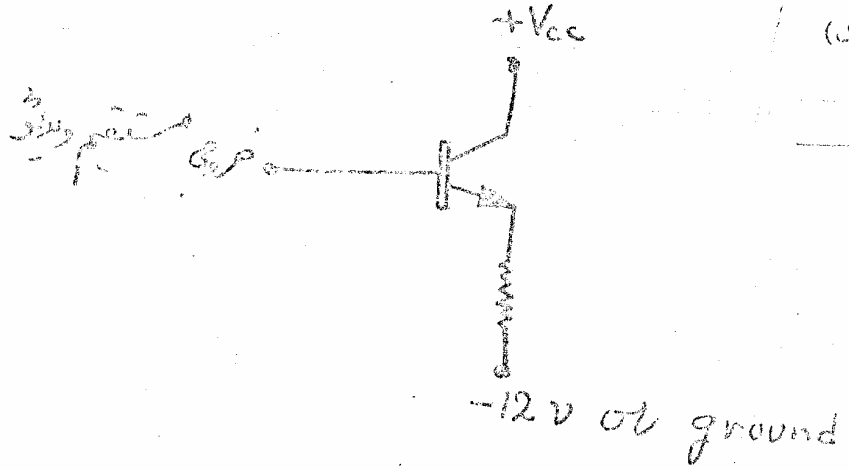
تبصره ۱ – تعیین فرکانس قطع واقعی مدار میتوان از رابطه تقریبی زیر استفاده نمود:

$$\frac{1}{(f_c)_{\text{واقعی}}} = \frac{1}{(f_c)_{\text{تئوری}}} \cdot 2\pi\tau'$$

τ': ثابت زمان ناشی از خازنهای خروجی (خازن ورودی اسیلوسکوپ و کابل ارتباطی)

تبصره ۲ – همچنین بمنظور کاهش اثرات دستگاههای اندازه گیری، میتوان در خروجی تقویت کننده ویدئو یک مدار گیرنده مشترک (با ترانزیستور HF) قرارداد:

(بمنزله Probe دینامیک)



طرح شماره ۴- استفاده از JFET فرکانس بالا

طرح شماره ۳ را بکمک JFET های فرکانس بالا محاسبه ومونتاژ کرده نتایج را مقایسه کنید.

۵- مونتاژ ICهای RF/IF بصورت "ویدئو"

بمنظورمقایسه، از یکی از IC های فرکانس بالا (نظیر LM703,LM371 یا مشابه) استفاده کرده یک تقویت کننده باند عریض بسازید. اصول کلی مدارهای داخلی و نحوه استفاده بصورت تقویت کننده باند عریض ICهای LM703,LM317 درصفحه بعد آمده‌اند. جهت اطلاعات بیشتر به کاتالوگهای مربوطه مراجعه شود.

" یک فرم تقویت کننده باند عریض "

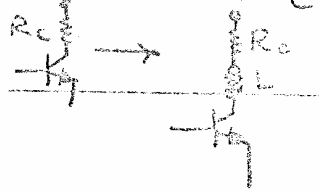
پایه Q_2 (ترمینال 7) با یک خازن به زمین متصل میشود.

پایه Q_1 (ترمینال 1) از طریق یک خازن اتصالی، سیگنال ورودی را دریافت میدارد (خروجی: ترمینال 8)

"یک نمونه تقویت کننده باند عریض"

۶- گسترش نسبی باند فرکانسی با افزودن سلف تصحیحی (اختیاری)

درهریک از مدارهای قبل، میتوان باافزودن یک سلف مناسب باز فرکانس راگسترش داد[1]*. دراین مورد سلف لازم را محاسبه کرده ونتیجه رابررسی کنید. اثرات تصحیح بیش ازحد (یاOvershoot) را نیز مورد بررسی قراردهید.



* جزوه طرح دستگاههای فرکانس بالا (صفحه آخر)

آزمایشگاه الکترونیک ۳

آزمایش شماره ۶ – ضرب کننده‌های آنالوگ (Analog Multipliers)وکاربردهای آن

هدف از این آزمایش آشنائی با مدارهای مجتمع Analog Multipliers تنظیم آنها و بررسی برخی ازکاربردهای آن است.

اصول کلی

ضرب کننده‌های آنالوگ بطورکلی مدارهائی هستند شامل V_y, V_x ویک خروجی V_o بنحویکه

$$V_o = KV_xV_y$$

(K ضریب قابل تنظیم که غالباً 1/10 است.)V_x و V_y درحالت کلی هرنوع سیگنال AC یا DC میتوانند باشند. عمل فوق را بصورتهای مختلف میتوان ایجاد نمود*(۱). درتکنولوژی مدارهای مجتمع غالباً سیگنالهای ولتاژی را به جریان تبدیل نموده با استفاده از تقویت کننده‌های اختلاف حاصلضرب این جریانها را بدست می‌آورند. مدار زیر اصول این عملیات را نشان میدهد:

اختلاف جریان (I_1-I_2) طبقه اختلاف بستگی به V_x دارد.
درعین حال بستگی به جریان I ودرنتیجه بستگی به V_y نیز دارد. در این مدار ساده ولتاژ V_y باید همواره مثبت و حتی بالاتر از 0/6 V باشد.

با بکاربردن دو تقویت کننده اختلاف (بجای یک طبقه Q_2,Q_1 وهمچنین دو مدار منبع جریان درمسیر V_y میتوان کاری کرد که ضرب کننده بتواند با ولتاژهای V_x و V_y مثبت یا منفی کارکند (ضرب کننده همه حالته: (Four Quadrant Multiplier). اختلاف جریانها بالاخره بوسیله یک مدار مبدل جریان به ولتاژ سیگنال خروجی را ایجاد مینماید*(۲).

---

* – به کتب تقویت کننده‌های عملیاتی مراجعه شود.

** جهت بررسی مشروحتر طرز کار داخلی این نوع IC‌ها به منابع زیر مراجعه شود.

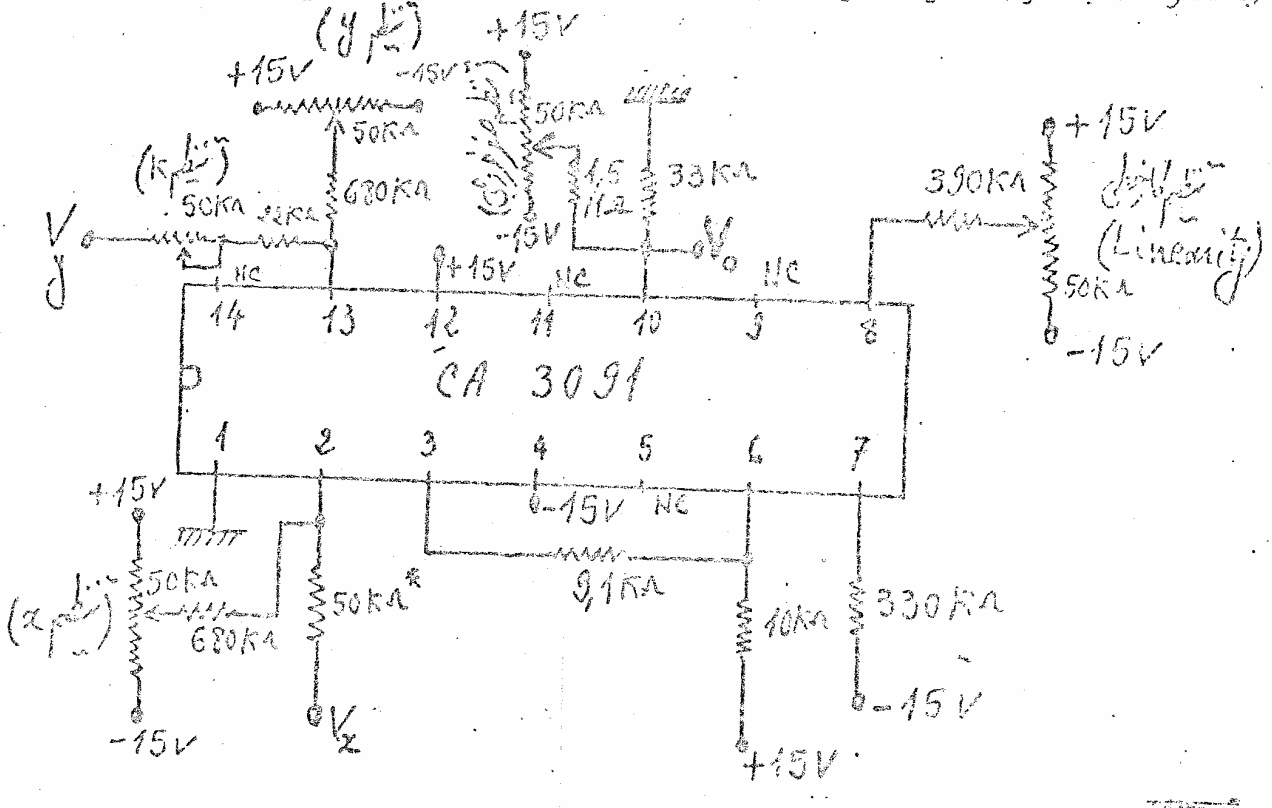
- فصل هشتم "Communicatin Circuits:Analisis and Design", Clarke-Hess

- کاتالوگهای Linear Ic's شرکتهای RCA و Motorola.

- جزوهٔ کاربردهای غیرخطی تقویت کننده‌های عملیاتی (محمد رحیمی)

بررسی و تنظیم

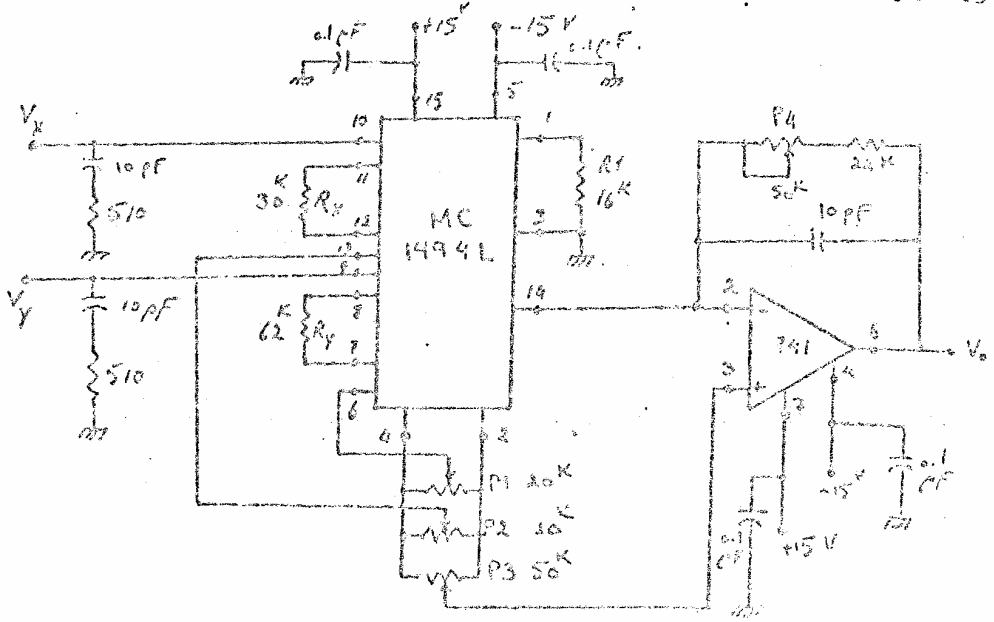
بعنوان مثال مدار مجتمع CA3091 (Four Quadiant Analog Multiplier) از شرکت RCA را درنظر میگیریم (به کاتالوگ ضمیمه مراجعه شود). بعنوان ضرب کننده آنالوگ مدارهای تنظیم زیر در خارج از IC قرار میگیرند:



توجه:

در صورت استفاده از ضرب کنندهٔ آنالوگ از نوع MC1494 به نکات زیر توجه کنید:

این IC (Motorola MC1494L) یک ضرب کنندهٔ آنالوگ از نوع Four Quadrant است که مشخصات آن در کاتالوگ ضمیمه موجود است. مدار این ضرب کننده بهمراه سایر مدارات جانبی‌اش که بصورت مونتاژ شده برروی برد مرجودند به صورت زیراست:



که برای این مدار داریم:

$$V_o = -\frac{V_x \times V_y}{10} \qquad (K = -1/10)$$

$$-10V \leq V_x \leq +10^V \qquad , \qquad -10^V \leq V_y \leq \leq + 10^V$$

لازم به تذکر است که در مدار موجود در آزمایشگاه با استفاده از یک Op-Amp اضافی ضریب منفی در رابطهٔ V_o حذف گردیده است. $V_o=(V_x \times V_y/10)$.درضمن به علت پهنای باند نسبتاً عریض ضرب کنندهٔ MC1494، مشخصهٔ فرکانسی مدار متوسط Op.Amp تعیین میگردد.

به علت حساسیت مدارات ضرب کننده لازم است در کنار بالآنها دقت لازم را به کاربرده و ازاعمال سیگنال در ورودی‌های مدار بدون وجود ولتاژ تغذیه خردداری گردد. همچنین لازم است که سایر قسمتهای مدار در برد جداگانه‌ای مونتاژگردند و ازمونتاژ در برد ضرب کننده خردداری گردد.

مراحل تنظیم این مدار در صفحهٔ بعد ذکر گردیده‌اند.

مراحل تنظیم:

الف: افست ورودی X:

۱- اسیلاتور سینوسی (1KHz با ولتاژ 5Vpp) رابه ورودی "Y" (پایه ۹) وصل نمائید.

۲- ورودی "X" (پایه 10) رابه زمین وصل کنید.

۳- پتانسیومتر افست "X" (p2) راتنظیم کنید تا بااستفاده از اسیلوسکوپ،سیگنال ac سینوسی در خروجی به حداقل ممکن برسد.

ب: افست ورودی "Y":

۱- اسیلاتور سینوسی (5Kpp,1KHz) را به ورودی x (پایهٔ 10) وصل نمائید.

۲- ورودی "Y" (پایهٔ ۹) رابه زمین وصل نمائید.

۳- با استفاده از پتانسیومتر تنظیم افست y(p1)، سیگنال Ac سینوسی در خروجی را به حداقل ممکن برسانید. (بااستفاده از اسیلوسکوپ).

ج: افست خروجی:

۱- هر دو ورودی "X","Y" را به زمین وصل نمائید.

۲- بااستفاده از پتانسیومتر تنظیم افست خروجی (p3)، ولتاژ خروجی را ازنظر DC به صفر نزدیک نمائید. (تاحد امکان).

د: ضریب K:

۱- ولتاژ 10 + Vdc به مردو ورودی "X","Y" اعمال نمائید.

۲- ولتاژ 10.00 V + را در خروجی برقرار نمائید.

۳- با تنظیم P4، ولتاژ 10.00 V + را در خروجی برقرار نمائید.

۴- با اعمال ولتاژ 10 vdc- به مردو ورودی "X","Y"، بررسی کنید که آیا خروجی برابر 10.00V + است یا نه.

هـ: مراحل "الف" تا "د" را تا رسیدن به یک تنظیم مناسب تکرار کنید.

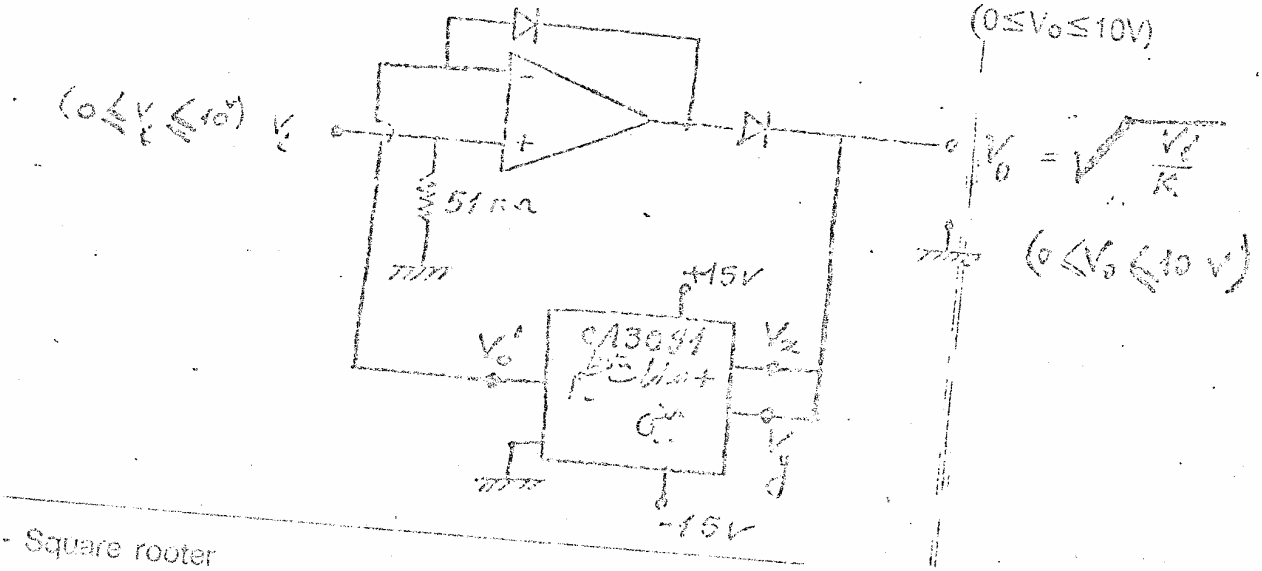
حداکثر تنظیم:

۱	—	—	—	—	کلیه پتانسیومترها را در کجا قرار دهید
۲	۰	$V_{i\,max}$	پتانسیومتر تنظیم ۲	اسیلوسکوپ یا ولتمتر DC	خروجی V_o را به حداقل ممکن برسانید
۳	۰	$V_{i\,max}$	پتانسیومتر تنظیم ۱	" "	" " " "
۴	۰	$V_{i\,max}$	—	" "	مجدداً مراحل ۲ و ۳ را تکرار نمائید
۵	$V_{i\,max}$	۰	پتانسیومتر تنظیم ۲	" "	خروجی V_o را به حداقل ممکن برسانید
۶	۰	۰	پتانسیومتر تنظیم ۱	" "	دقت را طوری تنظیم کنید
۷	تقریباً $V_{i\,max}$	تقریباً $V_{i\,max}$	۱۰ " "	" "	خروجی V_o را در حد ممکن تنظیم کنید
۸	—	—	—	—	با تغییر علامت ورودی، تنظیم V_o را با یکی از مراحل فوق انجام دهید

کاربردها

۱- مدار جذرگیر[1]*

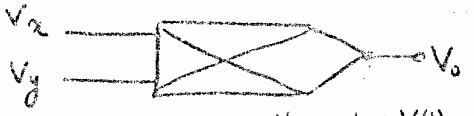
$$V_o = \sqrt{\frac{V_i}{K}}$$



1- Square rooter

۲- طراحی یک ولتمتر RMS (اندازه‌گیری ولتاژ موثر یک موج متناوب)

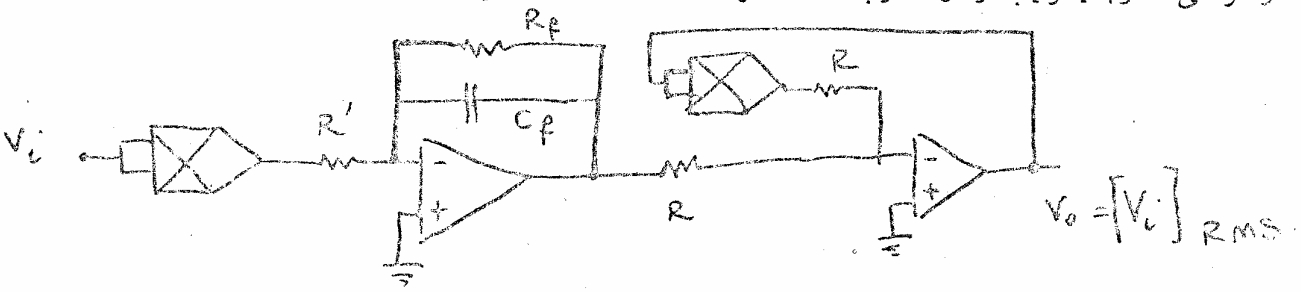
ضرب کننده آنالوگ همراه با مدارات تنظیم را بصورت زیر نمایش میدهیم:



بنابه تعریف ولتاژ موثر یک موج متناوب V(t) خواهیم داشت:

$$V_{\text{موثر}} = V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 . dt}$$

در طراحی مدار بدینترتیب از دو " ضرب کننده آنالوگ **(۱)" ویک فیلتر پائین گذر بصورت زیر استفاده میشود:



۳- دوبرابر کننده فرکانس (۲)*

چنانچه سیگنال $V_i(t)=V \sin \omega t$ V_y, V_x را به دو ورودی بفرستیم، درخروجی خواهیم داشت :

$$V_o = KV^2 \sin^2 \omega t = \frac{kV^2}{2} - \frac{kv^2}{2} \cos 2\omega$$

با حذف مولفه DC سیگنالی به فرکانس 2ω خواهیم داشت:

تبصره – با این روش در خروجی تنها سیگنال 2ω ایجاد شده و مولفه ω وجود نخواهد داشت.

۴- مدولاسیون DSB**(۳)*(با حذف حامل)

اگر $V_x=V_c \cos \omega_c t$ موج حامل و $V_y=V_m \cos \omega_m t$ سیگنال مدولاسیون باشند، در خروجی ضرب کننده آنالوگ خواهیم داشت :

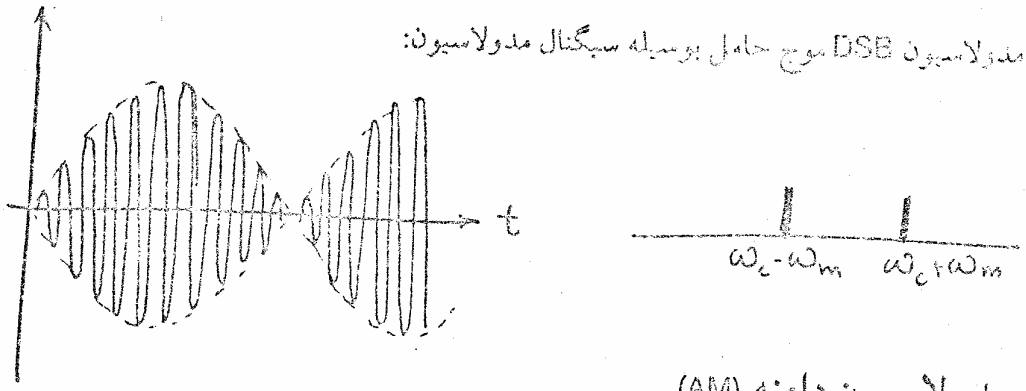
** ضرب کننده دوم میتواند از همین نوع و یا مدل دیگری باشد (مثلا MC1494 یا MC1495 (به کاتالوگ Motorola مراجعه شود)

* - Frequency Doubler

** Double Side Band

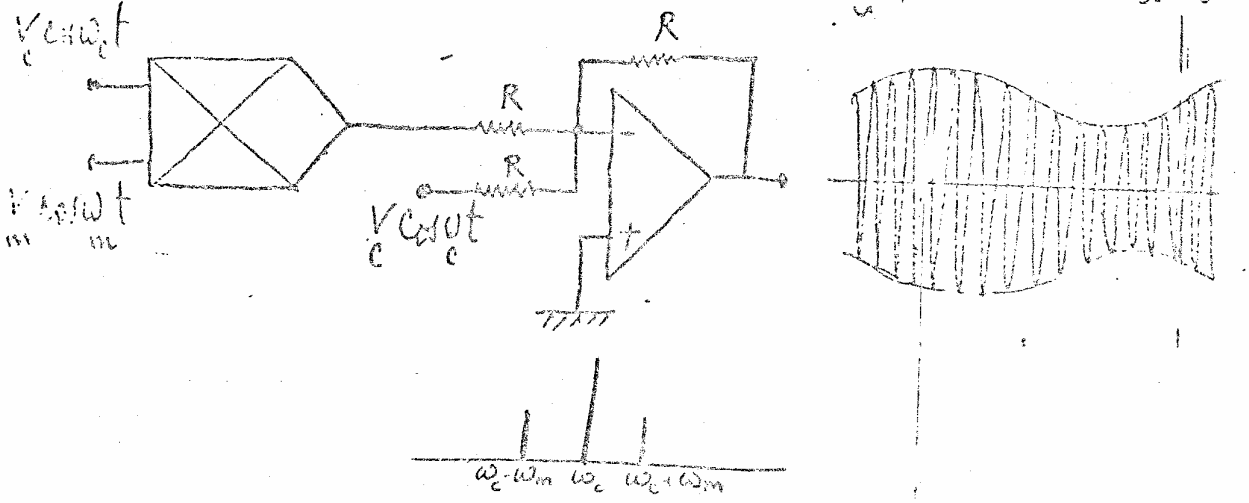
$$V_o = KV_cV_m \cos\omega_m t \cos\omega_c t = \frac{1}{2} K V_cV_m \{\cos(\omega_c+\omega_m)t + \cos(\omega_c-\omega_m)t\}$$

یعنی مدولاسیون DSB موج حامل بوسیله سیگنال مدولاسیون:



۵- مدولاسیون دامنه (AM)

روش الف) موج DSB فوق را با موج حامل $V_c\cos\omega_c t$ جمع می‌کنیم که دراینصورت مدولاسیون دامنه‌ای با ضریب مدولاسیون $m=KV_M$ خواهیم داشت:



روش ب) ابتدا یک مولفه DC به سیگنال مدولاسیون اضافه کرده و سپس در موج حامل ضرب میکنیم:
(چنین عملی را با تنظیم پتانسیومتر "افست" مربوط به ورودی مدولاسیون نیز میتوان انجام داد)

$$V_x = V_c \cos\omega_c t$$

$$V_y = V + V_m \cos\omega_m t \qquad (V=V_{DC})$$

$$V_o = KV_xV_y = KVV_c\cos\omega_c t + \frac{1}{2} KaV_cV_m[\cos(\omega_c+\omega_c)t + \cos(\omega_c-\omega_m)t]$$

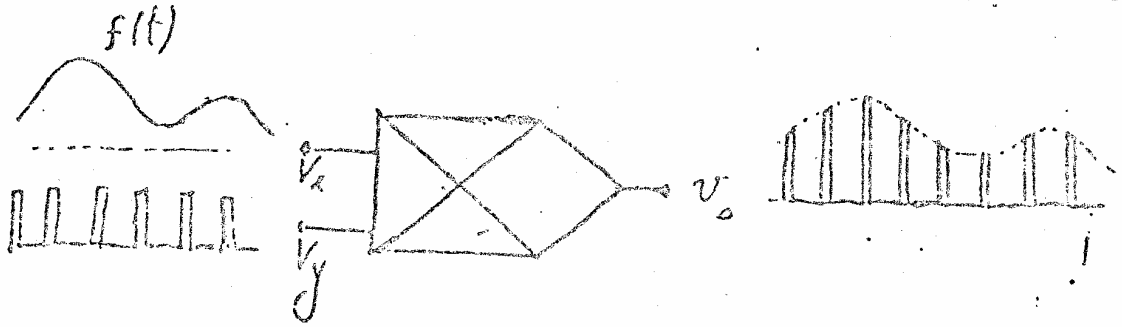
$$m = \frac{V_m}{V}$$

یعنی مدولاسیون دامنه به ضریب:

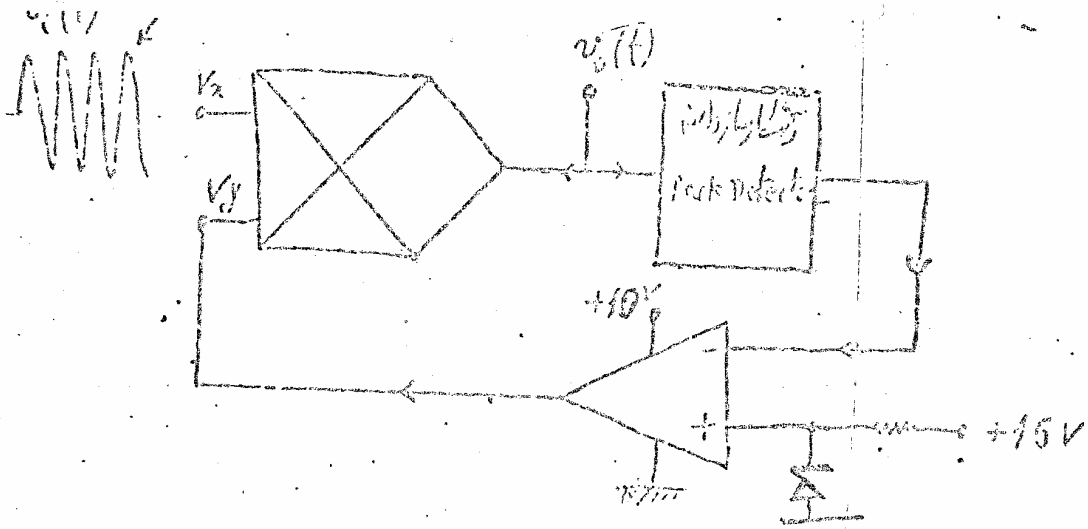
مزیت این روشهای مدولاسیون دامنه به مدارهای متداول ترانزیستوری (یا لامپی) حذف موجهای مدوله شده 30c،20c و غیره است.

۶- قطعه قطعه کردن سیگنال[1] و نمونه برداری **[2]

ورودی Vx یک سیگنال f(t) است. در ورودی Vy پالسهای باریکی به دامنه مثلاً 10V میفرستیم. خروجی Vo نمونه‌هائی از سیگنال F(t) خواهد بود:



۷- مدار کنترل اتوماتیک بهره (یا AGC)*[3]



طرز کار مدار را توضیح داده، عملکرد آنرا روی یک سیگنال Vi(t) با دامنه متغیر بررسی کنید.

تبصره- این مدار بمنزلهٔ یک محدودکننده یا (Limiter)نیز عمل نموده و منجمله هرگونه مدولاسیون دامنه روی Vi(t) را حذف می‌نماید

---

* Choped

** Sampling

*** Automeatic Gain control

۸- مدار مخلوط کننده (یا Mixer)

در ورودیهای V_y, V_x دو سیگنال به فرکانسهای مختلف ω_2, ω_1 قرار میدهیم:

$$V_x = V_1 \text{ Sin } \omega_1 t$$

$$V_y = V_2 \text{ Sin } \omega_2 t$$

در خروجی V_o خواهیم داشت:

$$V'_o = \frac{1}{2} K V_1 V_2 [\text{Cos } (\omega_1-\omega_2)t - \text{Cos } (\omega_1+\omega_2)t]$$

چنانچه در خروجی یک مدار تشدید به فرکانس $W_1-W_2=W_I$ قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$V_o \frac{1}{2} KV_1V_2 \text{ Cos } (\omega_1-\omega_2)t = \frac{1}{2} KV_1V_2 \text{ Cis } \omega_I t$$

تبصره ۱- خروجی مدار ضرب کننده آنالوگ در واقع بمنزله جریانی است که دریک مقاومت 33K تولید ولتاژ خروجی را مینماید. بدینترتیب مدار تشدید را میتوان مستقیماً بین خروجی و زمین قرار داد.

تبصره ۲- چنانچه ω_2, ω_1 در فرکانس نسبتاً بالای نزدیک بهم باشند. در اینصورت میتوان جهت جداسازی $\omega_I=\omega_1-\omega_2$ ازیک فیلتر پائین‌گذر استفاده نمود.

تبصره ۳- بصورت کلی تر چنانچه سیگنال ورودی V_x یک موج مدولاسیون دامنه و V_y یک موج سینوسی خالص (نظیر نوسان‌ساز محلی) باشد، خواهیم داشت:

$$V_x \approx V_1[1+mf(t)]\text{Sis } \omega_1 t \qquad , \qquad V_y = V_2 \text{ Sin } \omega_2 t$$

$f(t)$ سیگنال مدولاسیون است.

دراینجا نیز باحذف ترم دوم (بافیلتر پائین‌گذر یا با مدارتشدید ω_I) خواهیم داشت:

$$V_o \approx \frac{1}{2} K V_1V_2[1+mf(t)] \text{ Cs}(\omega_1-\omega_2)t$$

یعنی موج مدولاسیون دامنه به فرکانس ω_I (وباهمان ضریب مدولاسیون)

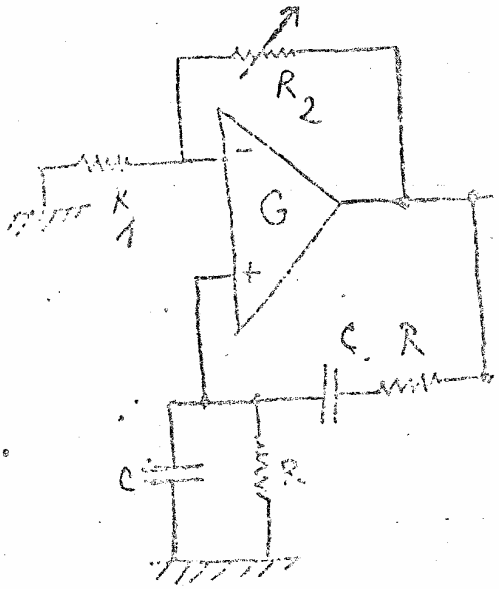
آزمایشگاه الکترونیک ۳

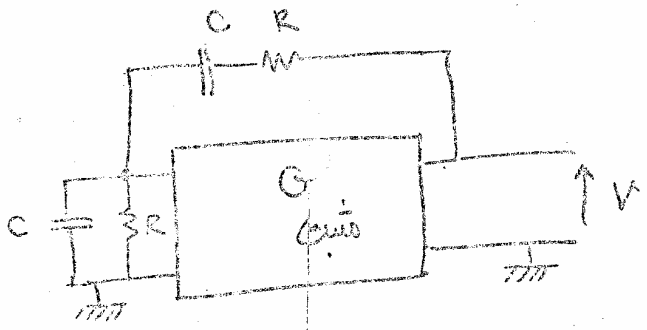
آزمایش شماره ۷ — نوسان‌ساز سینوسی

هدف از این آزمایش بررسی چند مدل مختلف نوسان‌ساز سینوسی در فرکانسهای نسبتاً پائین (فرکانسهای صوتی) ودر فرکانسهای رادیوئی (یا RF) است.

۱- نوسان‌ساز پل "وین" (Wien Bridge Osillator)

این مدار که عموماً در مولدهای فرکانسی نسبتاً پائین (ژنراتورهای صوتی) بکار میرود، از یک تقویت کننده G با بهره مثبت و یک فیلتر RC سری RC موازی مطابق شکل زیر ترکیب یافته است.





تقویت‌کننده G میتواند دو طبقه ترانزیستور امیترمشترک (یا دو طبقه FET) و یا یک تقویت‌کننده عملیاتی باشد.

شرط ایجاد نوسانات: $G > 3$

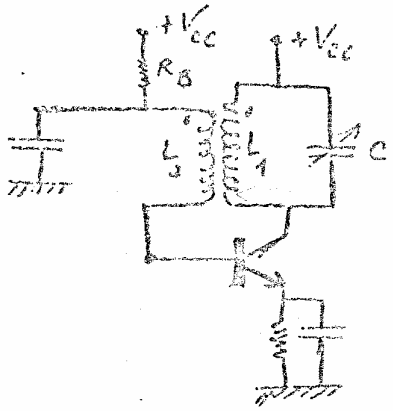
فرکانس نوسانات: $f \approx \frac{1}{2\pi RC}$

بکمک R_2 میتوان بهره ولتاژ G را در حد مناسب تنظیم نمود. با تغییر C مدار را برای فرکانسهای 100KHz,10KHz,1KHz,100Hz تنظیم کنید.

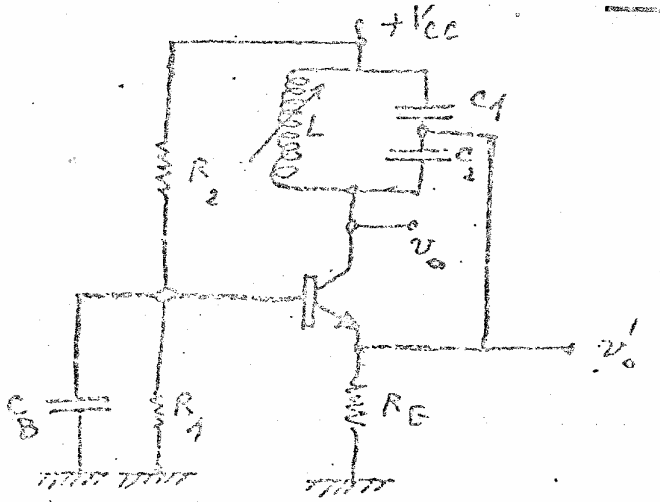
۲- نوسان‌ساز RF با کوپلاژ بین گیرنده و پایه

با صرفنظر کردن از تلفات ترانسفورماتور کوپلاژ، شرط ایجاد نوسانات و فرکانس آنرا تعیین کنید:

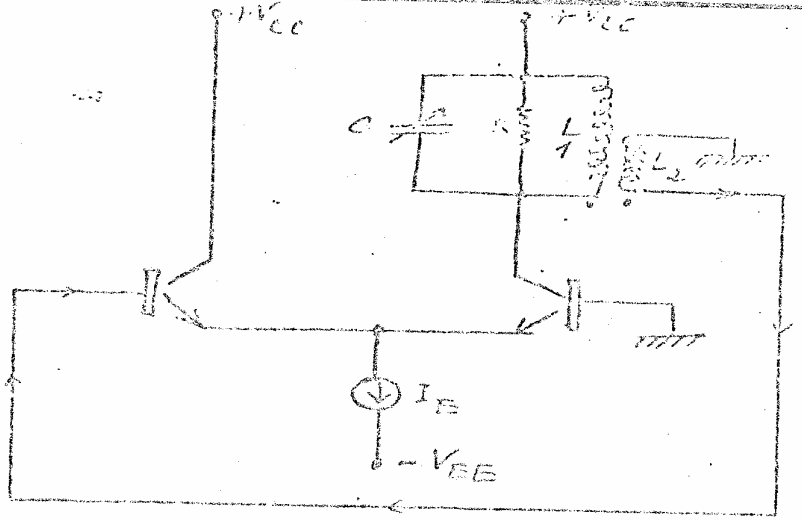
سپس عناصر مداری را برای F=455 Kl·Hz محاسبه نموده، و نتیجه را بررسی نمائید.



۳- نوسان‌ساز Colpitts



۴- نوسان‌ساز سینوسی با استفاده از تقویت کننده دیفرانسیل



۵- نوسان‌ساز کریستالی

ابتدا یک نوسان‌ساز نوع [illegible] روی بورد آزمایش مطابق مدار زیر طرح و تنظیم کنید ($f \approx 450KHz$). میزان ثبیت فرکانس این مدار را تحت کنترل درآورید. (برای مثال یک فرکانس متر دیجیتال) حال از یک کریستال کوارتز 450KHz استفاده نموده و میزان تثبیت فرکانس را مجدداً اندازه‌گیری کرده و مقایسه کنید (شکل در صفحه بعد). این مدار کریستالی را نرم‌افزار Pspice نیز میباشد.