



طراحی و ساخت Function Generator

هادی قدیمی

دانشگاه ارومیه - پردیس شهر

گروه مهندسی برق

qadimi_hadi@yahoo.com

Tel: 0411-3803107

چکیده: Function Generator مورد بحث سیگنال های مربعی، سینوسی، مثلثی، ramp و دندان اره ای را با فرکانس های مطلوب تولید می کند این سیگنال زنراتور توانائی تولید سیگنال های سینوسی با حداکثر 0.1% اعوجاج (distortion) و سیگنال های مربعی بدون spike و over shoot و نیز نوع مثلثی و دندان اره ای و ramp با درصد انحراف خطی بودن حدود 0.01% را دارد. همچنین قابلیت اضافه کردن یک سطح dc مورد نظر را به سیگنال خواسته شده تضمین میکند. محدوده فرکانسی برای فقط سیگنال مربعی از 0.001Hz تا 1MHz و برای خروجی های مختلف و همزمان از 0.001Hz تا 300KHz می باشد. برای مثال فرض کنید که یک سیگنال مربعی که یک سطح آن زمین شود را تولید کرده ایم این سیگنال همان سیگنال مربعی است با این تفاوت که با یک shift آنرا بالا برده ایم و سطح منفی سیگنال را به صفر رسانیده ایم که این مساله در کاربردهای TTL و CMOS و کلا منطق digital که محدودیت مشخص شده ای را در ماگزیمم دامنه و منیمم دامنه لازم دارند خروجی مطلوب باید موجود باشد تا بدون interface خارجی بتواند انواع مدارات آنالوگ و عمدتا دیجیتال را راه اندازی کند.

کلمات کلیدی: Function Generator – Distortion – Duty Cycle – Frequency Range

۱- مقدمه:

در این مقاله عملکرد مدار Function Generator و مشخصات و محدودیتها و توصیف دیاگرام ها بررسی می شود در آخر مقاله مدارات مربوطه به همراه بلوک های مختلف به ضمیمه آمده است.

۲- عملکرد مدار:

با توجه به شماتیک مدار که در شکل ۱ و ۲ ضمیمه شده است یک رنج توسط یک خازن کالیبره شده و بقیه رنج های فرکانسی توسط تغییر سوئیچ به خازن های دیگر قابل دسترسی است. (C6 تا C13).

ICL8038 یک Wide band Op Amp را راه اندازی می کند که خود این Op Amp هم یک طبقه Power Amp را راه اندازی می کند که یک جفت ترانزیستور قدرت را شامل می شود کوپلاژ dc برای وقتی که فرکانس کاری تا 0.01 هرتز پائین می آید بکار می رود و افسست dc را تامین می کند.

LM318 که یک Wide band Op-Amp می باشد برای منظور فوق استفاده شده است و ترانزیستورهای قدرت ذکر شده TIP31 و Tip32 می باشند. ترانزیستورهای Q2 و Q4 که در شکل ۲ نمایش داده شده اند حفاظت اتصال کوتاه مدار را بر عهده دارند و جریان ورودی ترانزیستورهای خروجی را محدود می کنند این ترانزیستورها (Q2, Q4) جریان امیتر ترانزیستورهای خروجی و جریان های بیس را تنظیم می کنند ولتاژهای ثابت ± 12 ولت با یک جفت رگولاتور LM7812 و LM7912 برای L8038 تهیه می شود. این تثبیت به پایداری عالی رنج فرکانسی مدار کمک می کند.

Function Generator خروجی را با بار 50 اهمی و با $rms = 8v$ را با افسست ± 6 ولت راه اندازی می کند البته توجه داشته باشیم که ماگزیمم پیک ولتاژ خروجی از ± 12 ولت نمی تواند بیشتر باشد. برای بارهای کمتر از 30 اهم خروجی swing کمتری خواهد داشت.

برای خروجی یک منبع ± 12 ولت با حداکثر $1v_{(p-p)}$ ریپل با جریان 250mA لازم داریم تا سیگنال مربعی با $12v_{(p-p)}$ و 6 ولت افسست، خروجی 50 اهم را بار کند. با توجه به اینکه ترانزیستورهای خروجی Q3 و Q5 نباید از لحاظ حرارتی مشکل داشته باشند.

شارژ و دشارژ خازن رنج فرکانسی با منابع جریان (دو منبع جریان) داخلی IC1 انجام می شود که این منابع با ولتاژ dc متصل به pin 8 کنترل می شوند.

R4, R3, R2, R1 یک تقسیم کننده را تشکیل می دهند که R3, R2, R1 بالاترین ولتاژ منفی موجود را با توجه به بالاترین فرکانس رنج مشخص شده و R4 بیشترین ولتاژ موجود را برای کمترین فرکانس رنج مشخص شده تعیین می کنند. C1 متصل به این مقاومت هم خازن بایپاس می باشد.

سوئیچ MODE سوئیچی است که طبق بحث فوق ولتاژ کنترل فرکانس برای L8038 را تامین می کند که علاوه بر حالت فوق حالت بعدی با یک ولتاژ خارجی یا Ext. Sweep Input می باشد البته اگر کنترل خارجی مد نظر باشد. برای محافظت از L8038 از حیث افزایش ولتاژ یا جریان منابع خارجی بخش R37, R5, D1 طراحی شده که اگر بحث کنترل خارجی که در بالا ذکر شد مد نظر نباشد از سوئیچ MODE و R37, D1, R5 صرف نظر شده و R3 مستقیماً به (pin8) متصل می شود.

Q1 یک ترانزیستور FET به صورت cut off بین (pin 10) و GND متصل می شود. سوئیچ FET و Q6 این امکان را پدید می آورند که خروجی همیشه با یک شیب یکسان شروع شود. سوئیچ متصل به آن در دو حالت تنظیم میشود در حالت burst یک پالس ورودی از طریق مقاومت محافظ R38 به Q6 اعمال می شود سوئیچ ذکر شده مقاومت های بایاس R20, R21 را به منبع ولتاژ مثبت و GND متصل می کند یک پالس حداقل +2V با Q6 معکوس شده و Q1 را از طریق R17 و R18 خاموش می کند ICL8038 بمیزان محدوده پالس burst ورودی تا زمانی که این پالس

موجود باشد نوسان می کند. در Continues Mode سوئیچ، R_{20} را بایاس می کند تا Q_6 ، ON شود و باعث شود Q_1 ، OFF شده و به این صورت نوسان می کند.

R_8, R_7, R_6 مقدار منابع جریان داخلی L8038 را تنظیم می کند که نسبت R_8, R_6 برای سیگنال های متقارن باید ۱ باشد و R_7 برای تقارن سیگنال های تولید شده طرح می شود.

$R_{16}, R_{15}, R_{14}, R_{13}$ برای Min کردن اعوجاج طراحی می شود و R_{10} مقاومت موازی با خازن Compensate، C_5 برای بهترین سیگنال مربعی طرح می شود. R_{11} و C_4 یک تضعیف کننده برای پائین آوردن سطح سیگنال مربعی برای امواج سینوسی و مثلثی را دارد و R_{22} دامنه سیگنال خروجی را کنترل می کند که خروجی R_{22} ، LM318 را تغذیه می کند.

توان مصرفی L8038 توسط رگولاتورهای ± 12 ولت تامین می شود و C_2, C_3, C_{14}, C_{15} خازن های بایپاس برای کاهش نویز و بهینه کردن پایداری مدار طراحی می شوند.

LM318 خروجی امیتر فالوور Q_3, Q_5 را راه اندازی می کند و $R_{26}, R_{27}, C_{18}, C_{19}$ ولتاژ عملکرد تغذیه برای LM318 می باشند خروجی این IC (Pin6) کوپل dc برای ترانزیستورهای خروجی Q_3, Q_5 از طریق دیودهای کوپل D_2, D_3 می باشد.

C_{20}, C_{19} دیودهای D_2, D_3 را بایپاس کرده و برای سیگنال های فرکانس بالا، پاسخ فرکانسی سیستم را بهتر می کنند و مقاومت های امیتر R_{35ABC} و R_{36ABC} (که به صورت موازی بسته شده اند $\frac{1}{4}W$ و $10\ ohm$ نقش محدود کننده جریان را برای ترانزیستورهای طبقه خروجی ایفا می کند که اگر جریان بالائی (بالتر از 500 mA) به Q_3, Q_5 جاری شود در اینصورت R_{30} و R_{32} یا (R_{31}, R_{33}) بایاس کافی را برای ON کردن ترانزیستورهای Q_2 (یا Q_4) فراهم می کنند به این ترتیب ترانزیستورهای خروجی Q_3 و Q_5 را به حدود 500 تا 700 میلی آمپر محدود می کنند.

R_{25} و C_{16} و R_{34} شبکه فیدبک را تشکیل می دهند که C_{16} برای بهینه کردن سیگنال مربعی و همچنین مثلثی و سینوسی طرح می شود و R_{25} که جزئی از شبکه فیدبک است ولتاژ dc را بر می گرداند و R_{25} هر ولتاژی که به -12 و $+12$ ولت متصل می شود این ولتاژ بدست آمده باعث می شود تا بایاس LM318 شیفیت مثبت یا منفی یافته و با مقدار R_{23} طرح شده حدود $5\pm$ تا $6\pm$ ولت شیفیت کند Q_3 و Q_5 باید محافظت حرارتی شوند چون حدود 10 وات اتلاف حرارتی در شرایط short circuit خواهیم داشت.

۲-۲: بهینه کردن خروجی برای سیگنال های مختلف:

طبق Functional Diagram که در شکل ۴ نمایش داده شده است خازن خارجی C با دو منبع جریان شارژ و دشارژ می شود که منبع جریان شماره ۲، ON یا OFF بودنش با فلیپ فلاپ کنترل می شود در صورتیکه منبع جریان شماره ۱ همواره ON است. در شماتیک نمایش داده شده فلیپ فلاپ در حالتی است که منبع جریان شماره ۲ خاموش بوده و خازن در حال شارژ منبع با شماره ۱ می باشد ولتاژ عبوری از خازن بطور خطی افزایش می یابد تا به سطح Comparator 1 برسد (که این سطح ولتاژ برابر $\frac{2}{3}$ ولتاژ منبع میباشد) در این حالت فلیپ فلاپ تریگر شده

حالتش عوض می شود و منبع جریان شماره ۲ را آماده می کند این منبع جریان معادل $2I$ می باشد بنابراین خازن با جریان $I = I - 2I = -I$ دشارژ می شود. ولتاژ عبوری هم بطور خطی کاهش خواهد یافت. وقتی سطح ولتاژ آن به مقدار 2 Comparator برسد $(\frac{1}{3}V_{cc})$ فلیپ فلاپ تریگر شده و دوباره این سیکل تکرار خواهد شد. ولتاژ مثلثی همان ولتاژ دو سر خازن می باشد و فلیپ فلاپ هم ولتاژ مربعی ما را تولید خواهد کرد دو مقاومت خارجی منبع اندازه جریان را مشخص می کنند که برای I و $2I$ طرح شده اند زمان شارژ و دشارژ و طبیعتا شکل موج مثلثی ما زمان رفت و برگشتش برابر خواهد بود. برای تولید سیگنال دندان اره ای باید منابع، جریان های مختلف از I و $2I$ را تولید کنند (با تغییر در طراحی مقاومت های خارجی). در مورد Duty Cycle برای امواج مربعی همان بحث فوق مطرح است.

۲-۳: زمان بندی سیگنال ها :

توازن تمامی سیگنال ها معمولا با یک مقاومت خارجی تنظیم می شود دو حالت برای تنظیم این مقاومت در شکل ۳ نمایش داده شده است طبق شکل ۳-الف، دامنه شکل موج مثلثی برای rise time برابر $\frac{1}{3}V_{supply}$ می باشد. پس:

$$t_1 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times \frac{1}{3}V_{supply} \times R_A}{0.22V_{supply}} = \frac{R_A \times C}{0.66} \quad (\text{رابطه ۱})$$

و fall time یا زمان صفر شدن سیگنال مربعی :

$$t_2 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times \frac{1}{3}V_{supply}}{2(0.22)\frac{V_{supply}}{R_B} - 0.22\frac{V_{supply}}{R_A}} = \frac{R_A R_B C}{0.66(2R_A - R_B)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که $Duty\ Cycle = 50\%$ برای $R_A = R_B$ نتیجه می شود. برای دو مقاومت جداگانه فرکانس برابر است با:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{\frac{R_A C}{0.66} (1 + \frac{R_B}{2R_A - R_B})} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که اگر $R_A = R_B = R$ باشد $f = \frac{0.33}{RC}$ که در شکل ۳-الف نمایش داده شده است. پس با توجه به روابط فوق می توان نتیجه گرفت که نه زمان و نه فرکانس هیچکدام به V_{cc} وابسته نیستند.

۲-۴: کاهش اعوجاج:

برای مینیمم کردن اعوجاج شکل موج سینوسی مقاومت $82k$ بین $pin\ 11$ و $pin\ 12$ قرار داده شده است. با این مقاومت اعوجاج (distortion) تا حدود 0.1% کاهش پیدا می کند.

۲-۵: انتخاب R_A و R_B و C :

برای رنج فرکانسی خروجی مشخص محدوده RC مختلفی را داریم که رنج مشخص بستگی به جریان شارژ خواهد داشت در پائین ترین مقدار، جریان های کمتر از $1\ \mu A$ مطلوب نیست و در بالاترین جریان برای $I > 5\ m$ ولتاژ



saturation بتای ترانزیستورها مشکلاتی را به همراه خواهد داشت. پس بهترین محدوده جریانی 10 uA تا 1 mA خواهد بود که اگر (8 و 7 pin) به هم اتصال کوتاه شوند دامنه جریان شارژ از طریق R_A محاسبه می شود.

$$I = \frac{R \times (v^+ - v^-)}{R_1 + R_2} \times \frac{1}{R_A} = \frac{0.22(v^+ - v^-)}{R_A} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که R_2, R_1 مقاومت های طبقه Current Source ساختار داخلی IC1 میباشد با توجه به اینکه مقدار C برای بالاترین مقدار طراحی شده انتخاب می شود.

۲-۶: مشخصات LM318:

band width حدود 15MHz برای small signal

slew rate حدود 50v/u sec

ماکزیمم جریان بایاس 250 n A

compensate داخلی

۳- نتیجه گیری:

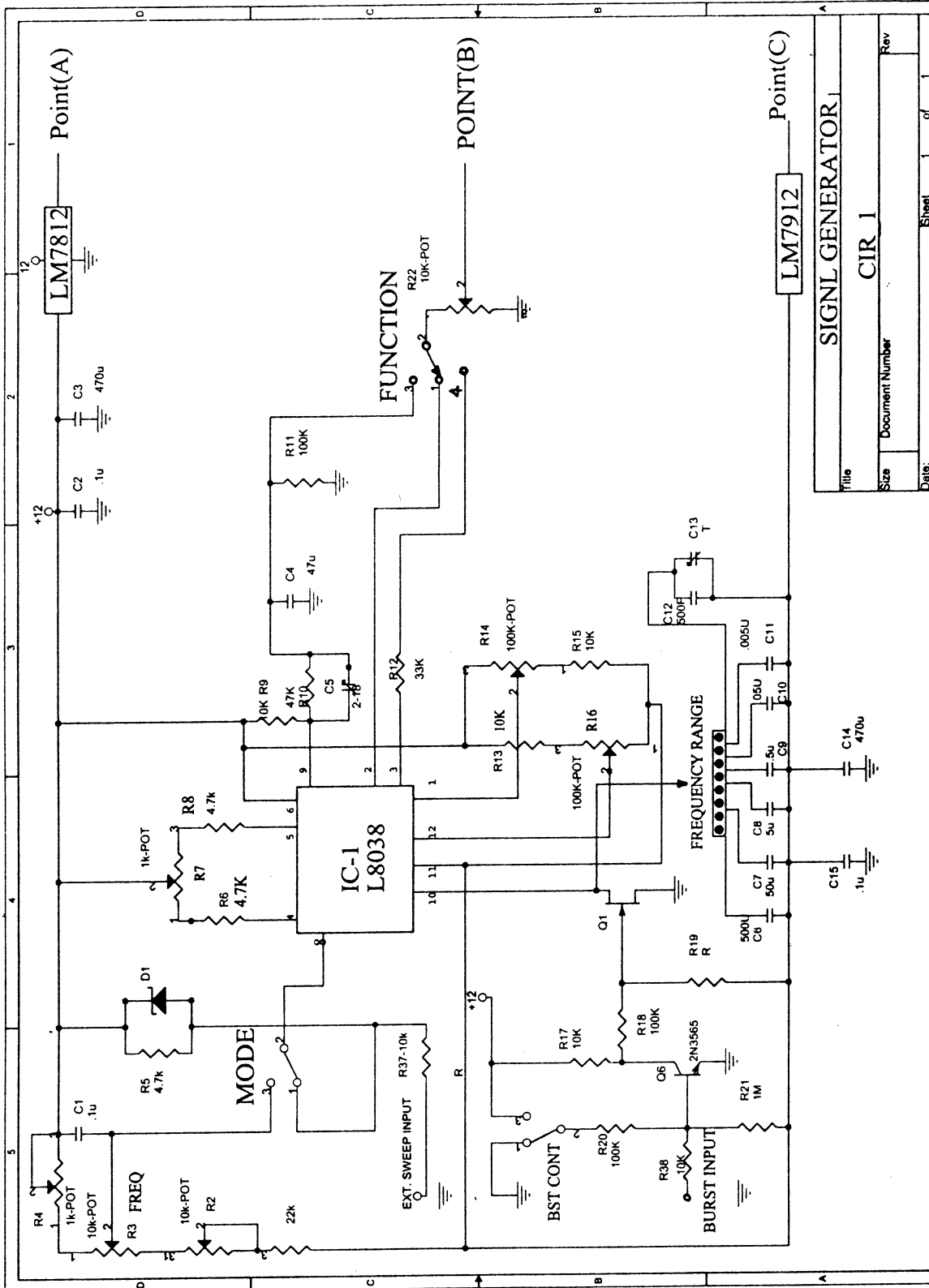
حال اینکه چگونه می توان کمترین اعوجاج را با بیشترین رنج فرکانسی تولید کرد. اولاً اینکه باید voltage supply ± 15 یا +30 ولت باشد این مساله mismatch، V_{BE} را مینیمم کرده و یک تغییرات ولتاژ زیادی را در pin8 خواهیم داشت با ± 15 ولت ولتاژ عبوری از مقاومت های خروجی از صفر تا 8 ولت تغییر خواهد کرد بدون اینکه در موج مثلثی برش حاصل شود.

از R_B و R_A با مقادیر مختلف استفاده شود که در (pin 4,5) دو مقاومت 4.7 کیلو اهمی با پتانسیومتر 1 کیلو اهمی که تغییراتی از 4.7 تا 5.7 را برای R_B و R_A خواهیم داشت. این بخاطر ترانزیستورهای Q_2, Q_3 ، طبقه differential Amplifier داخل 8038 که گین آنها با امپدانس بین (pin 5,4) مشخص می شود اتصال آنها بهمديگر بخاطر اثر میلری پاسخ فرکانسی را محدود خواهد کرد. رنج فرکانس یکی از محدودیت های مهم مدار می باشد.

در نهایت از دانشجویان دانشگاه تهران که تلاش فراوانی را در هر چه بهتر برگزار کردن چهارمین همایش دانشجویی داشته اند تشکر می کنم.

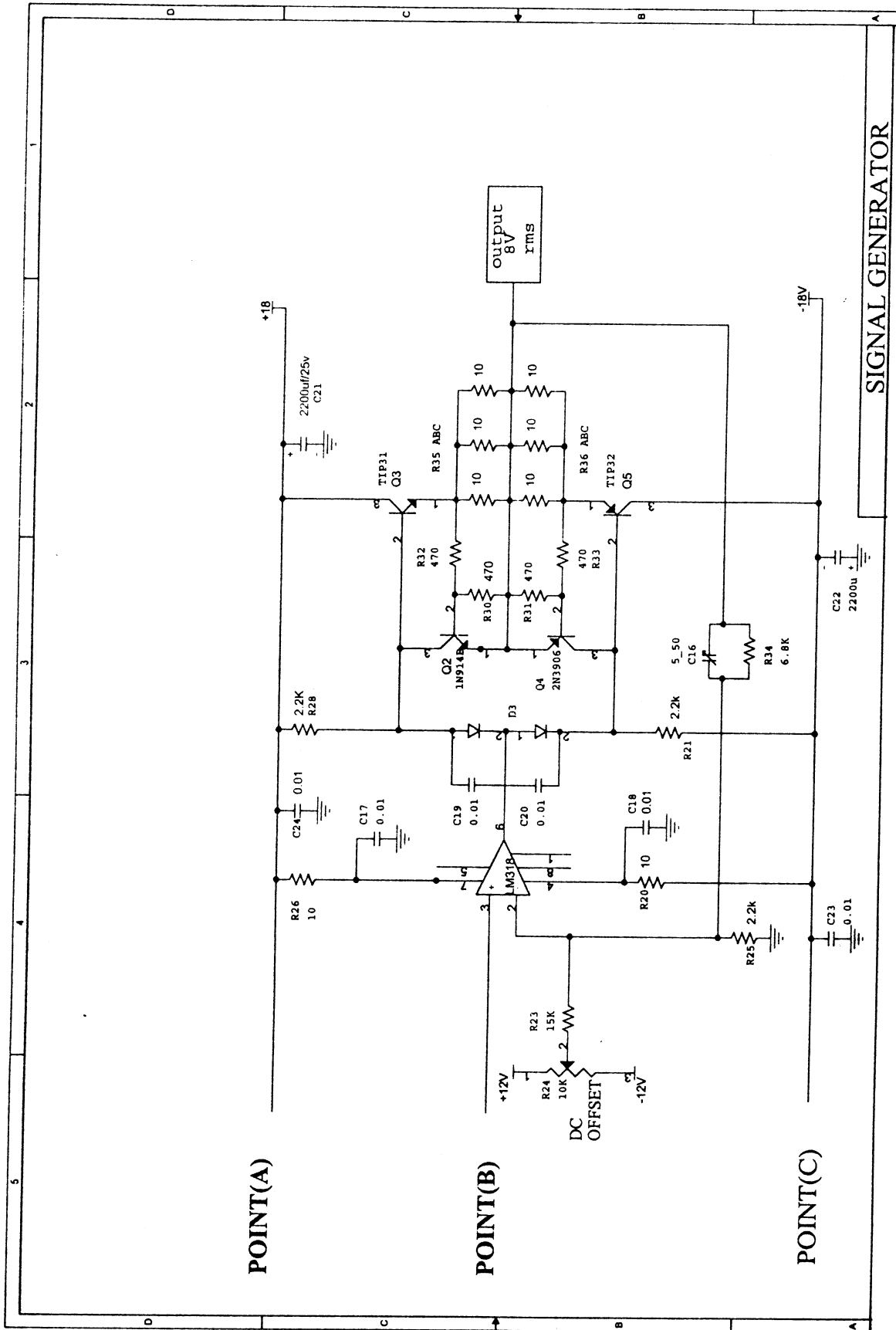
۴- مراجع:

- 1- National semiconductor Data Book
- 2- Gray , "Anaby integrated circuit"
- 3- Bell, "pulse circuits"
- 4- IC MASTER 2000

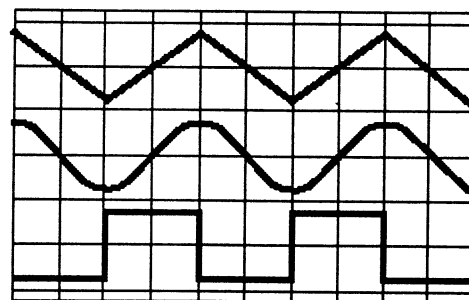
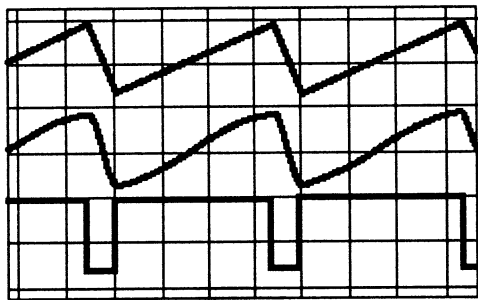


Title	SIGNAL GENERATOR
Size	CIR_1
Document Number	
Rev	
Date	
Sheet	1 of 1

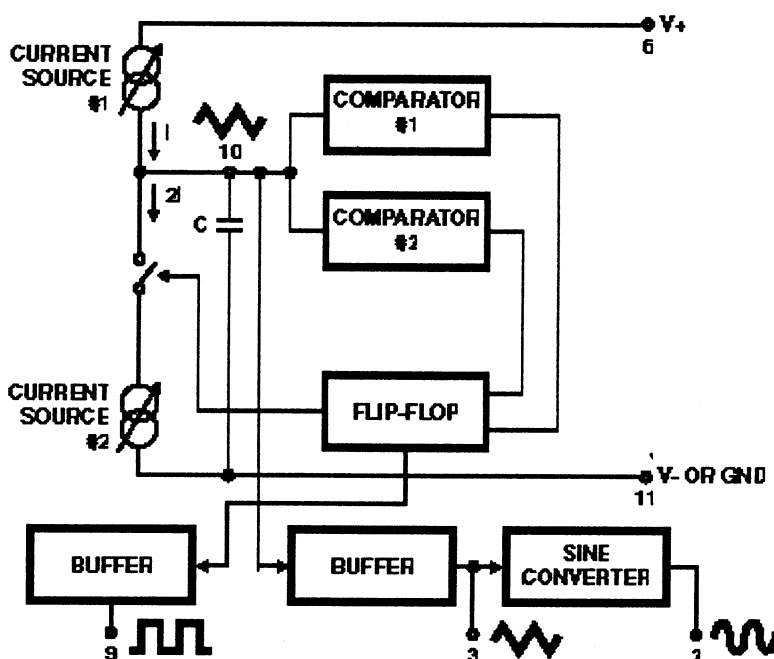
شکل ۱: مدار function generator



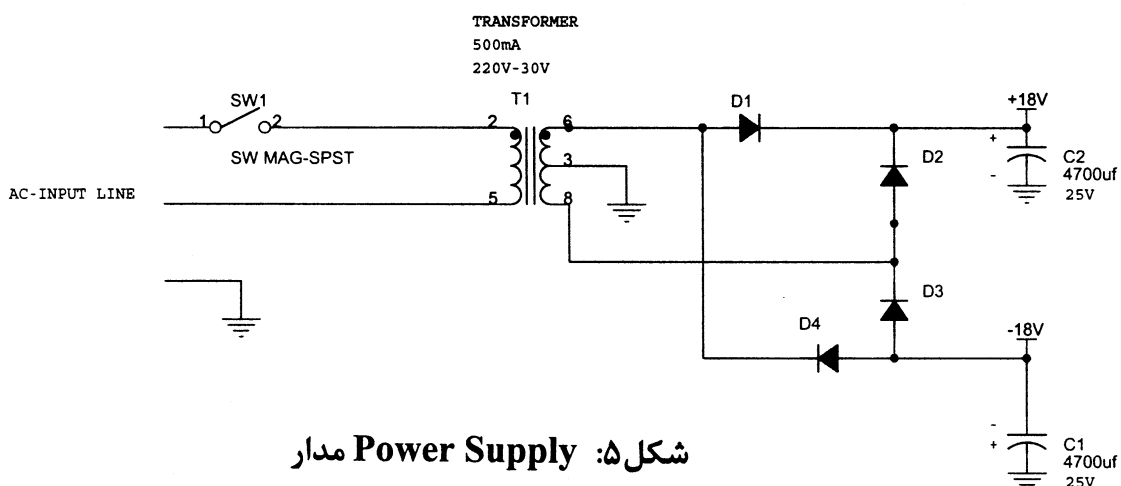
شکل ۲: ادامه مدار function generator



شکل ۳ الف: سیگنال مربعی با $\text{duty cycle} = 50\%$ شکل ۳ ب: سیگنال مربعی با $\text{duty cycle} = 80\%$



شکل ۴: Functional Diagram مربوط به L8038



شکل ۵: Power Supply مدار