اختلاف فازسنج دیجیتال

ایرج نوذری
شرکت سهامی برق منطقه ای کرمان

چکیده

گرارا" اتفاق افتاده که هنگام احداث خطوط توزیع به صورتTOFF یا تعویض چپرها ،به علت سوختن و یا اتصال سرکابل به خطوط هوائی جای فازهای تغذیه مشترکین جابجا گردیده و از این رهگذربعلت چپ گردشدن موتورهاخسارات زیادی بویژه به موتورهای آبیاری وارد آمده است . بعلت نیاز به رفع این نقیصه لازم بود گروه های اجرائی مجهز بدستگاه اختلاف فاز سنج دیجیتال گردند ، اما به علت ارزبری بالای این دستگاه که حدودا ۲۵۰۰ دلار است علاقمندبساخت این دستگاه وارائه آن به گروههای اجرائی گردیدم . نمونه ساخته شده این دستگاه با قابلیتهای بیشتر هزینه ای بالغ بر ۴۰۰۰ ریال دربرداشته ودر تولید انبوه این هزینه تقلیل خواهدیافت .

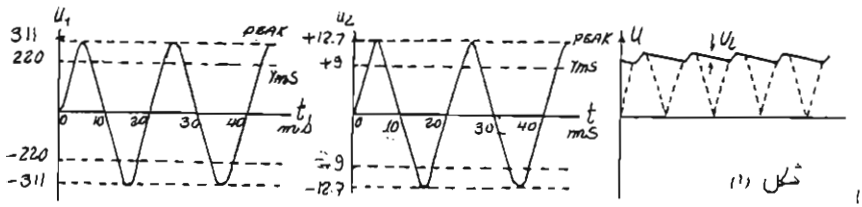
این دستگاه کاربردهای زیادی در صنعت برق بویژه در شبکه های‌توزیع انرژی دارد ،بعنوان نمونه کاربردهای این دستگاه بقرار زیر است :

- سنکرون کردن ژنراتورها
- کالیبره کردن شیفت دهنده های فاز
- اندازه گیری پاسخ فاز وسائل مختلف وتشخیص پیش فاز یا پس فازبودن ونمایش آن
- اندازه گیری اختلاف فاز بین دو سیگنال برق شهر بنحوی که قادر است با تغییر فرکانس در یک محدوده 20 HZ (50HZ ±10 HZ)بطوردقیق اختلاف فاز دو موج ولتاژ را بر حسب درجه اندازه‌گیری‌نمایدونتیجه آنرا روی لامپهای SEVEN SEGMENT نمایش دهد .

پروژه شامل سه فاز مطالعاتی ،طراحی وساخت می باشدکه در این‌مقاله‌فقط فازساخت بعنوان نوآوری وکاربردی بودن آن ارائه گردیده است.

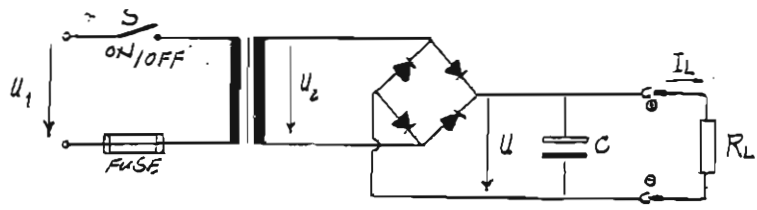
۱ـ شرح مقاله " ساخت دستگاه "

۱ـ۱ـ تغذیه دستگاه :منبع تغذیه یکی از مدارهای مهمی است که برای راه اندازی هرنوع مدار الکترونیکی مورد نیاز میباشد. در مواردی که مصرف کم باشد میتوان از باطریهای خشک برای تغذیه بهتر استفاده نمود .بدلحاظ اینکه در این دستگاه چهار لامپ هفت قسمتی SEVEN SEGMENTوهشت LED مصرف کننده اصلی می باشند. مدار تغذیه طوری طراحی شده که از برق شهر انرژی دستگاه را می توان تدارک نمود.مدار شامل یک ترانسفورماتور کاهنده برای کاهش ولتاژ یک پل دیودی برای یک سو کردن ویک خازن که تقریبا " آنرا ثابت نگه میدارد می باشد .در شکل ۱و۲ مدار و شکل موجهای آن دیده میشود .



شکل (۱)

ا) ولتاژشبکه برق شهر،ب)ولتاژکاهش یافته،ج) ولتاژی ازخازن صافی(با)



شکل (۲) یکسوسازتمام موج باخازن صافی

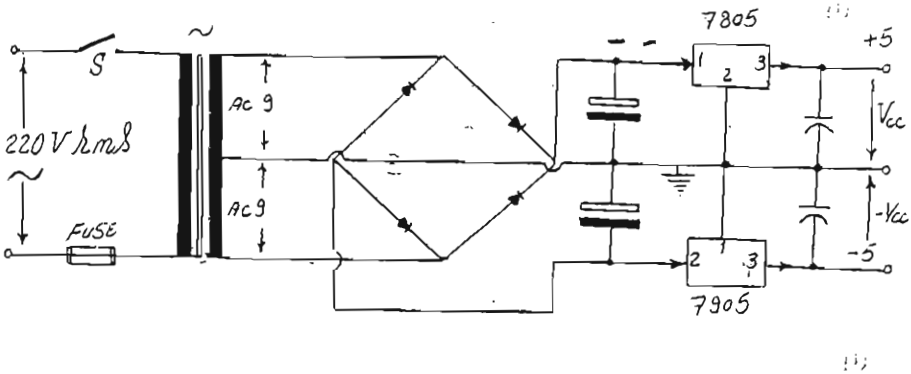
زمانی که نیم موجهای ولتاژ از صفر تا ماکزیمم تغییر میکنندخازن C شارژ و زمانیکه ازمقدار ماکزیمم به صفر تنزل مینمایندروی مقاومت Rl دشارژ میشود. امتیاز این مدار نسبت به یکسوساز نیم موج در این است که هر دو نیم موج مثبت ومنفی درطرف ثانویه قابل استفاده است .

برای صاف کردن ولتاژ تاصافی Ul مدار صافی لازم بوده و مقدارخازن ازرابطه :

$$C = 9 \cdot \frac{Il(mva)}{Ul(volt)}$$

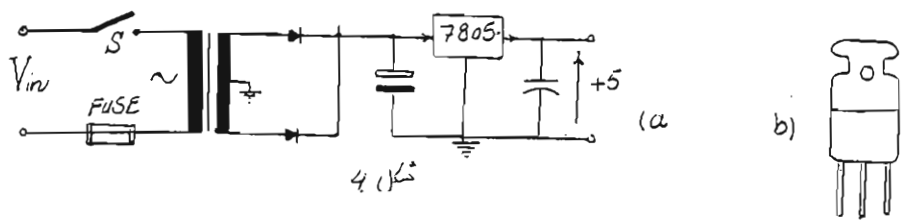
قابل محاسبه است .

در این دستگاه احتیاج به ولتاژ Vc+و Vc- بسهولت استفاده از تقویت کننده های عملیاتی میباشد. سایر IC های مورد استفاده همگی CMOS میباشند که فقط نیاز به ولتاژ مثبت برای کار دارند. همانطور که در شکل (۳) مشاهده میشود برای حذف هرگونه ریپل در تغذیه دستگاه از IC رگولاتورهای ولتاژ 7805 و 7905 استفاده گردیده است.



شکل ۳- منبع تغذیه دستگاه

عملا"برای آنکه تغییرات اعداد نمایش داده شده روی لامپهای هفتقسمتی تاثیری برروی ولتاژ تغذیه سایر IC ها نداشته و اختلال در کار آنها بوجود نیاید رگولاتور جداگانه ای جهت IC های LATCH این لامپها در نظرگرفته شده که مدار آن مشابه شکل (۳) است. با این تفاوت که احتیاج به ولتاژ منفی نبوده ولذا از یکسو ساز تمام موج دیودی استفاده گردیده است.

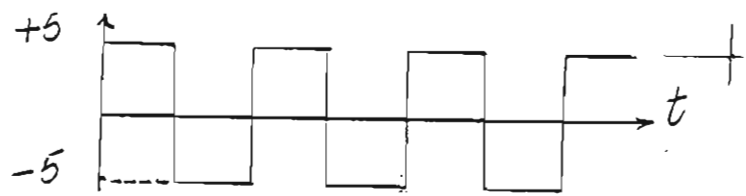


شکل ۴

a)تغذیه لامپهای هفت قسمتی b)رگولاتور ،ولتاژ Ic

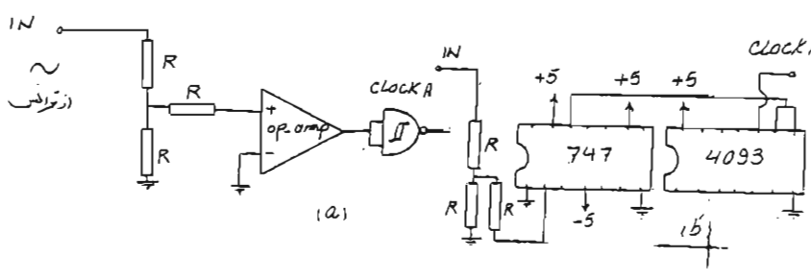
این IC رگولاتورها در حالت عادی ماکزیمم جریان خروجشان 500 mA بوده وبرای استفاده از جریان بیشتر روی آنها Heat Sink قرارداده شده است.

۳-۱- تولید پالسهای ساعت A و B ومقدار آنها ((Clock A&B)) :
پالس ساعت A که سنکرون با فرکانس برق شهر است از سوئی برای تولید و کنترل زمانها مورد استفاده بوده و از دیگر سو فرکانس ساعت B از روی آن ساخته می شود .برای ساختن پالس ساعت A از خروجی ترانسفورماتور (9±:220)استفاده می شود .یعنی ۹ ولت AC باید به یک مدار عبور از صفر داده شود .بنابر این پس از کاهش آنرا به ورودی مثبت یک تقویت کننده عملیاتی داده و ورودی منفی آن به زمین وصل می گردد .چون تقویت آن ۵± ولت بدون نیاز به یک (Feed Back) است و با توجه به بهره بسیار بالای آن (که بازاء ورودی 8mV± به اشباع میرود) خروجی آن بصورت شکل (۵)خواهد بود .



شکل ۵ – خروجی op_amp

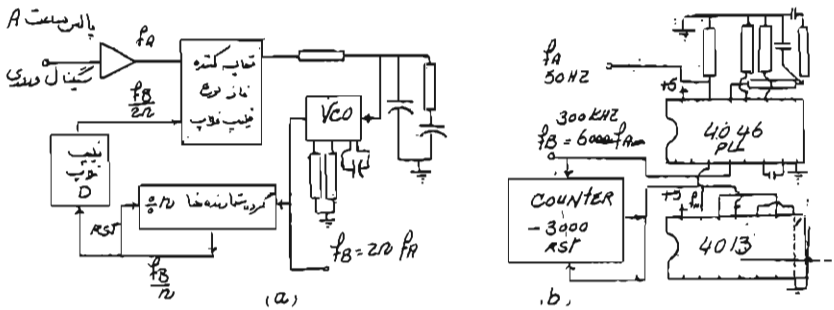
برای حذف قسمتهای منفی و دیجیتالی کردن آن باید قسمتهای منفی حذف شوند . برای این منظور از یک اشمیت تریگر مطابق شکل (۶) استفاده گردیده است .



شکل ۶

از سایر گیتهای IC هائی که در شکلها رسم شده اند در قسمتهای دیگر استفاده میگرددکه در جای خود بیان خواهد شد .
دیگر پالس ساعت موردنیاز ساعت شمارش است که در نهایت اختلاف فاز را توسط شمارش نشان می دهد .جهت استفاده از این دستگاه در فرکانسهای دیگربجز 50 Hz (استاندارد ایران) از شیوه ضریب فرکانس استفاده شده است که این روش ضرب با استفاده از Pll برگزیده شده است .دیاگرام شماتیک ومداری تولید این پالس در شکل (۷) آمده است.

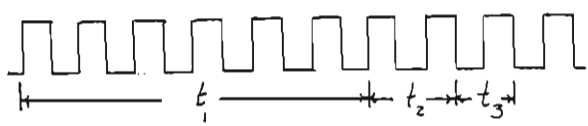
ترانس پالس ساعت B



شکل ۷

با انتخاب عدد ۶۰۰۰ برای ضریب دقت اندازه گیری تا میزان صدم درجه افزایش میابد. در حالت معمولی اندازه گیری برای داشتن چنین دقتی ناگزیر از داشتن یک کلاک با فرکانس ۳۶۰۰۰ برابر فرکانس موج ورودی یعنی برق شهر میباشیم . در حالتی که آنرا 50 Hz در نظر بگیریم فرکانس برابر 1.8 MHz مورد احتیاج استکه در این فرکانس کار با IC های CMOS خیلی مشکل است وحتی خروجی Pll از حالت مربعی خارج وبه صورت شکل مقابل در می آید :

برای رفع این مشکل بجای اینکه از یک سیکل جهت شمارش نمونه برداری شود از شش سیکل استفاده شده وبه سیکل بعدی برای تولید فرمانهای Store و Reset شمارنده های نمایش در نظر گرفته شده اند .



شکل ۸

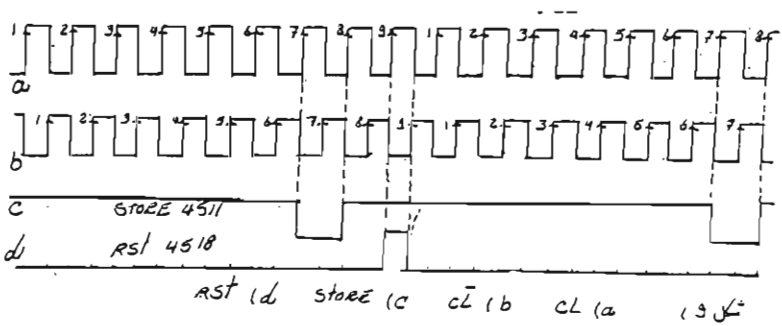
T1 زمان اندازه گیری اختلاف فاز و T2 زمان Store و T3 فرمان Reset است.

با این انتخاب بجای اینکه ساعت A در ۳۶۰۰۰ ضرب شود در ۳۶۰۰۰/۶۰ یعنی ۶۰۰۰ ضرب شده وبرای فرکانس 50 Hz فرکانس آن 300 KHz شده که براحتی توسط IC های 4518 تولید وشمارش میشود .

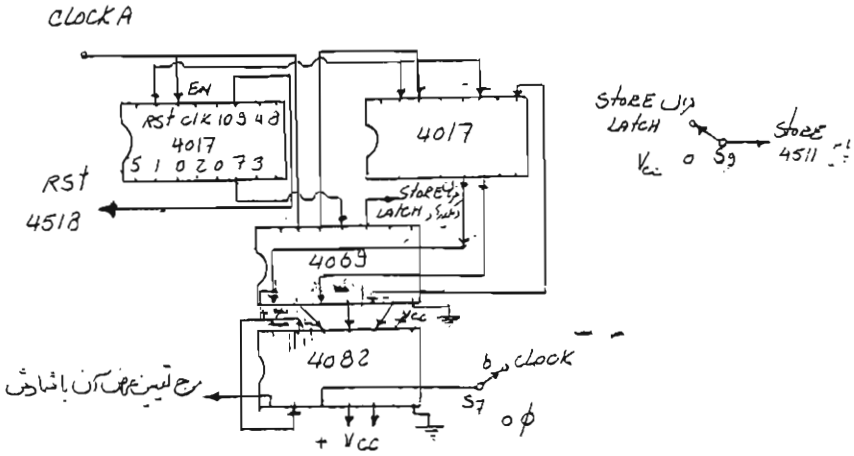
۳-۱- تولید فرمانهای Latch·Reset Store ومدارهای آنها :شمارنده های مورد استفاده IC های 4518 هستند که هر یک از آنها شامل دو شمارنده است وبه فرمان RST,EN,CL، وبا چهار رقم شمارش را به شکل bcd انجام میدهد .این شمارنده ها را به صورت Cascade بایستی بست .لذا Cl آنها بزمین وفرکانس شمارش به پایه EN داده میشود . در این حالت با هر لبه پائین رونده یک شمارش انجام میگیرد .

هنگام شمارش low RST (صفر منطقی)وهنگامی که خواسته شود شمارنده ها RESET گردند باید آنرا یک منطقی high شماشیم .

در ضمن چون با لبه پائین رونده شمارش انجام میگیرد برای اینکه چهار شمارنده پشت سرهم هر یک تا ۱۰ بشمارند لازم است از پایه خروجی تقسیم بر 8 به EN بعدی داده شود تا تقسیم درست انجام گیرد .
در حالت لبه بالا رونده باید از AND کردن خروجیهای 8 و 1 به EN بعدی داده شود .
Decoder های مورد استفاده IC های 4511 میباشند که قابلیت تبدیل ورودی bcd را به Seven Segment دارند .این IC سه فرمان ورودی دارد ،فرمان Blanking وفرمان Lamp test وفرمان Store. هنگامیکه BL درسطح صفر منطقی قرارگیرد تمام خروجیها صفر میشوند و هنگامیکه TL درسطح صفر منطقی باشد همه خروجیها high خواهند بود (BLهر چه می خواهد باشد).هنگامیکه پایه Store، high است این IC آخرین ورودی bcd را decode کرده و بصورت LATCH در خروجی ظاهر مینماید و تا هنگامیکه بحالت LOW نرفته ثابت میماند .از این خاصیت استفاده شده وکنیدی برای LATCH کردن درنظرگرفته شده که اگر سرعت اختلاف فاز زیاد باشد بتوان در یک لحظه مقدار آنرا اندازه گیری نمود . هنگامیکه پایه Store دروضعیت صفر منطقی قرار میگیرد هرورودی که به آن اعمال شود decode شده وبه لامپهای هفت قسمتی منتقل خواهد شد ودرنتیجه نمایش داده می شود .
فرمانهای STORE برای 4511 و RESET برای 4518 همراه با پالسهای CL و $\overline{CL}$ درشکل (۹) نمایش داده شده ونیز نحوه تولید آنها در شکل (۱۰) مشخص شده است.



RST (d STORE (c $\overline{CL}$ (b CL (a شکل ۹)



شکل (۱۰) مدارتولید فرمانهای **STORE** و **RESET**

همانطورکه ملاحظه می شود درطی تمام عمل ورودی شمارش انجام میگیرد وطی یک عمل ذخیره سازی ودرکلاک بعدی RST شمارنده هابرای شمارش ازصفرصورت می گیرد ودرواقع درهر ۹ سیکل ازموج ورودی تمام عمل اندازه گیری ونمایش انجام می شود.

بعبارتی می توان گفت درهر 9*20ms یعنی 180ms یکبار اختلاف فازجدیدکه درهردقیقه هزاربارمی شودنمایش داده می شود. برای تولیداین فرمانها از 4017-IC که شمارنده تقسیم برده میباشد استفاده گردیده است (مطابق دیاگرام مداری شکل ۱۰).

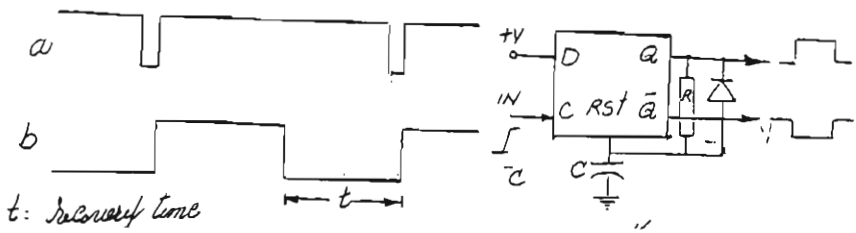
سویچ S7 جهت تست دستگاه درنظرگرفته شده وهنگامی که CLOCK راباپالسهای فرمان AND می کند اختلاف فاز 180° نمایش داده میشودودرحالت ⊕ کارعادی خودرا انجام می دهدیعنی اختلاف فازرا میسنجد. سویچ S9 که بوسطآن به پایه STORE دیکدرهای (DCODER) 4511 وصل‌شده دریک حالت یعنی Vcc خروجی را LATCH نگهمیداردودر یک حالت کارعادی آنها انجام می شود.

۳-۱- تغییر MODE نمایش 180/NORM فرمانهای LT و BL و اخطار $\overline{0}\overline{1}\overline{1}$ اگردرمداندازه گیری اختلاف فازباشیم وتنهایکی ازورودیهارا اعمال کرده باشیم ،چون اختلاف فازی نداریم کل پالس موردشمارش قرار میگیرد وماپاسخ 180° راملاحظه می کنیم ،برای رفع این اشکال مداراخطاری طرح گردیده تادرصورت قطع بودن هریک ازورودیهاروی لامپهای هفت قسمتی $\overline{0}\overline{1}\overline{1}$ نمایش داده شود. تشخیص بودن یانبودن سیگنال باکمک دومدارمنواستابل انجام می گردد باینصورت که سیگنالهای ورودی رابه ورودی تریگرمنواستابلهاداده وخروجی منواستابلهاراپس ازAND کردن باهم به شکل یک فرمان به پایه BL دیکدرها (DECODER) میدهیم. دراینصورت هنگامیکه منواستابلهاخروجی HIGH داشته باشندیعنی هردوورودی وجودداشته باشندپایه BL درسطح یک منطقی است ودرنتیجه اختلاف فازنمایش داده میشود، اما اگرخروجی حتی یکی ازمنواستابلهادرصورت نبودن ورودی آنهاصفرمنطقی باشد. پایه BL درسطح LOW قرارمی گیردوتمام خروجی دیکدرها (DECODER) در سطح LOW قرارمیگیرد.

همین فرمان که به BL دیکدرها (DECODER) داده شده به ورودی LT یک4511 داده می شود تا درهنگامی که دیکدرها خروجیشان صفر است این IC تمام خروجیهایش HIGH باشد ،و این خروجیها به لامپهای دلخواه SEVEN SEGMENT وصل می گردد تا فرمان $\overline{0}$ = $\overline{1}$ ظاهر شود .

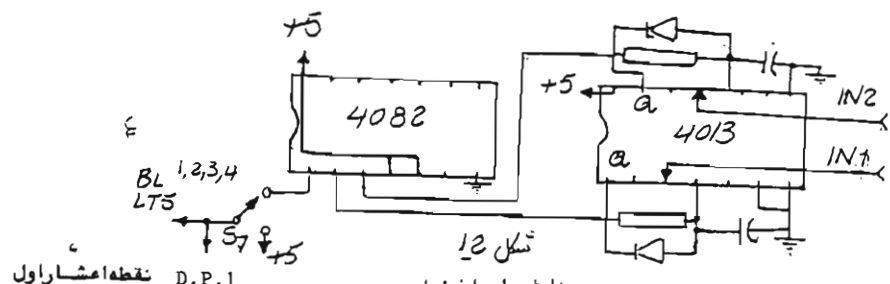
چون دیکدرهای (DECODER) اعداد و دیکدر (DECODER) فرمان اخطار خروجیهای ممکوس یکدیگر دارند ،یعنی هنگامیکه خروجی یکی HIGH است دیگری LOW و بالعکس .برای اینکه خروجیهای این IC ها تاثیری روییم نگذاشته باشند استفاده از دیودهای سیگنال IN 4148 که باجریان اندکی کار می کنند لازم می گردد که بصورت سری با خروجیهای دیکدرها (DECODERS) قرار داده می شوند .

منواستابلها با کمک IC 4013 که شامل دوفلیپ فلاپ D می باشد ساخته شده که در شکل (۱۱) شکل موج و دیاگرام مداری آن دیده می شود .



شکل ۱۱) a) پالسهای تریگی b) خروجی منواستابل c) منواستابل باکمک D) فلیپ فلاپ

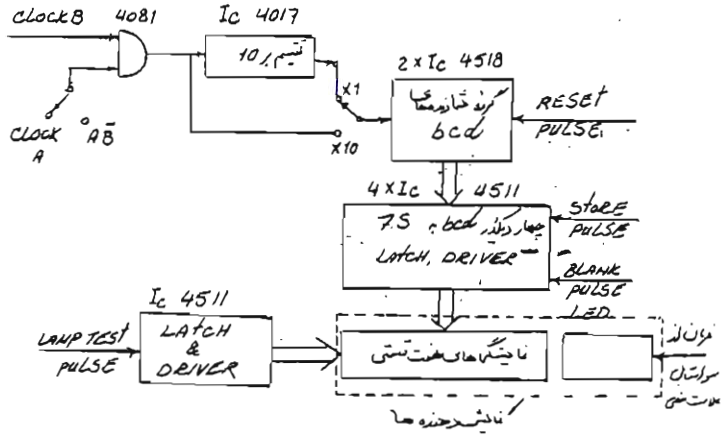
ورودی D فلیپ فلاپ به Vcc وصل شده وباهرلبه بالارونده ای که به CLOCK برسد HIGH خواهدشد و این باعث خواهد شد که خازن C از طریق R شارژ شود .Rc ثابت زمانی شارژ زمان منواستابل را تعیین می کنند .خازن C تاحدی شارژ می شود که بتواند یک سطح منطقی لازم برای پایه RST ایجاد کند که در اینصورت خروجی منواستابل LOW می شود تا آمدن لبه تریگر بعدی همچنان در این سطح می ماند .



شکل 12

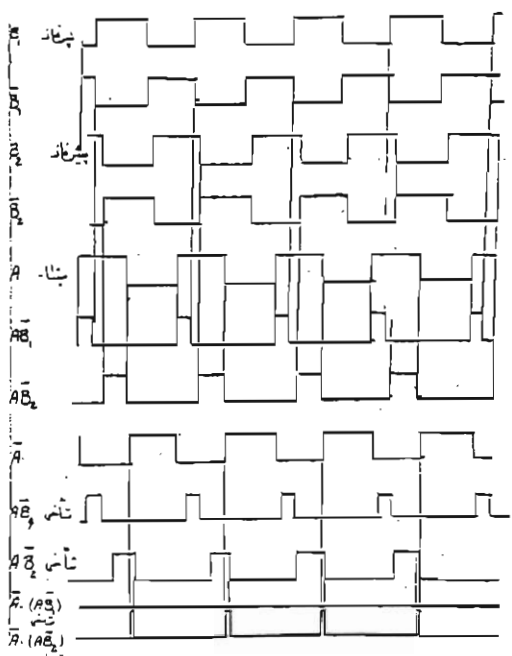
نقطه اعشار اول

مدار فرمان اخطار



شکل ۱۴.

شکل ۱۴) دیاگرام نمایش اختلاف فاز



شکل ۱۳) موجهای تولیدپالس تریگی

۵-۱- سیگنال علامت منفی : برای اندازه گیری اختلاف فاز ، یکی از سیگنالها بعنوان مبنا درنظر گرفته می شود و اختلاف فاز سیگنال دیگر نسبت به آن سنجیده می شود .برای اینکه مشخص شود سیگنال دوم نسبت به سیگنال اول پیش‌فاز است یا پس فاز باید مداری جهت تشخیص این موضوع طراحی گردد . این مدار شامل یک مونو استابل است که پالس تریگر آن تنها هنگامی تولید میشود که سیگنال دوم نسبت به اولی پس فاز باشد .ساختن پالس تریگر به اینترتیب انجام میشود که سیگنال AB که اختلاف فاز را مشخص میکند پس از عبور از یک مدار تاخیر 600nS با سیگنال A بصورت AND ترکیب می گردد .

در اینصورت هنگامی که سیگنال دوم نسبت به اولی پیش فاز باشد پالس تریگر تولید میشود و هنگامی که پس فاز باشد تولید نمیشود .

مونو استابل مورد استفاده مشابه با مونو استابلهای فرمان اخطار است و از نیمه دوم IC 4013 که شامل دو D فلیپ فلاپ است و بخشی از آن برای متقارن کردن پالس شمارش در Pll بکار رفته استفاده شده است.برای کاملتر شدن توضیحات و روشن تر شدن این روش حالت موجهای آن در شکل ۱۳ ترسیم شده است .

۶-۱- شمارش و نمایش اختلاف فاز :سیگنال اختلاف فاز یعنی AB و در حالت 180 سیگنال کلاک A با کلاک B بصورت AND ترکیب شده و خروجی پس از یک تقسیم به شمارنده های باینری رفته و خروجی این شمارنده به دیکدرهای BCD(DECODERS) به 7.S داده شده و خروجی آن به لامپهای هفت قسمتی مطابق شکل ۱۴ داده می شود .

۲- نتیجه

قابلیتهای این وسیله تا حد بسیاری افزایش یافته و در مقایسه با انواع آمریکایی ، آلمانی ، ایتالیایی و .....که در شرکتهای تابعه وزارت نیرو استفاده می شود از رجحیت بالایی برخوردار بوده و بنابراین استفاده از آن در شبکه های توزیع می تواند الزامی باشد .مزایای این وسیله عبارتند از :

- قابلیت اتصال همزمان ۶ ورودی در قبال انواع خارجی آن که تنها دارای دو ورودی است .بعلاوه می توان یک دستگاه سه فاز در حال کار را بدون قطع و وصل اتصالات و روشن و خاموش کردن مکرر دستگاه به اختلاف فاز سنج متصل و اختلاف فاز مورد نظر بین هر دو سیگنال ورودی دلخواه را اندازه گیری نمود .
- در حالتی که ورودیها قطع باشند سیگنال اخطار ۵ = ۱ تولید و نمایش داده می شود که در نوع آمریکایی آن در این حالت عددهای ناپایدار مختلفی نمایش داده می شود .
- سیگنال جریان تا 10A RMS را میتوان براحتی به آن اعمال نمود (تا 120A آزمایش شده .) و حال آنکه برای مشابه خارجی آن مقدار مجاز 2 آمپر است .

- دقت این دستگاه با تغییراتی که در آن داده شده تا صدم درجه افزایش یافته و حال آنکه مشابه آن تنها برحسب درجه اختلاف فاز را نشان می دهد.یک سیستم LATCH برای اندازه گیری اختلاف فاز در مواقعی که بطور لحظه ای بایستی اختلاف فاز سنجیده شود طراحی گردیده است .

- تشخیص پیش فازبودن یا پس فازبودن و نمایش آن .
- یک سیگنال جهت تست خود دستگاه تعبیه شده که عدد 180.0 را نمایش می دهد و از آن می توان برای آزمایش دستگاه و همینطور تشخیص میزان خطای آن استفاده نمود .
- جعبه دستگاه نیز طوری ساخته شده که قابلیت حمل و نقل راحتی داشته و طرز کار دستگاه در داخل آن نصب شده است .

۳- منابع :

1- CMOS COOKBOOK BY DON LANCASTER HOWARD W.SAMS 8C CO.INE. 4300 WEST 62 ND ST INDIANAPOLIS INDIANA 46268 U.S.A.
2-COMMUNICATION CIRCUITS ANALYSIS AND DESIGN BY KENNETH K. CLARKE DONALD T. HESS WESLEY PUBLISHING CO.
3-J.TOW "A STEP BY STEP ACTIVE FILTER DESIGN"BELL LAB 1969
4-ASEA RELAYS, BUYERS GUIDE, BO3- 0011, 1987- 1988 BO3- 4013, TYPE RAGPC.
5-POPER.R.D. AND LEEDHAM.P.J."A REVIEW OF THE CAUSES AND EFFECTS OF DISTRIBUTION SYSTEM THREE PHASE UNBALANCE" IEE CONFERENCE ON SOURCES AND EFFECTS OF POWER SYSTEM DISTURBANCES CONFERENCE PUBLICATION NO.140 1974.
6-HERMAN W.DOMMEL "NON LINEAR AND TIME VARYING ELEMENTS IN DIGITAL SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS"PAS-GO, NOV - DEC, 1971
7-J.TOW"DESIGN FORMULAE FOR ACTIVE RC FILTERS USING OPERATIONAL AMPLIFIERS BIQUAD",ELECTRONIC LETTERS JULY,1969

۴-ضمیمه

فهرست IC های دیجیتالی مورد استفاده عبارت است از :

- شامل دو فلیپ فلاپ نوع D IC 4013
- شمارنده ده تایی با خروجی دیکد (DECODE)شده یک از ده IC 4017
- IC 4046 PLL
- شامل شش گیت منطقی NOT با جریان خروجی خوب IC 4069
- شامل چهارگیت منطقی AND دوورودی IC 4081
- شامل دوگیت منطقی AND چهارورودی IC 4082
- دیکدر (DECODER) و LATCH و DRIVER لامپهای هفت قسمتی IC 4511
- شمارنده bcd با قابلیت CASCADE شدن IC 4518

این IC شامل دوشمارنده است .

IC های فوق برگرفته از کتاب CMOS بوده و سایر IC های بکار رفته رگولاتورهای سویچینگ ولتاژمی باشند .