



## طراحی و ساخت نیمه صنعتی رله اضافه جریان و اتصال زمین دیجیتال با قابلیت حذف مؤلفه DC میراشونده موجود در سیگنال های جریان

حمید سرداری<sup>۱</sup> سعید رمضان جماعت<sup>۱</sup> صادق جمالی<sup>۲</sup>  
۱. سازمان توسعه برق ایران  
۲. دانشگاه علم و صنعت ایران

واژه های کلیدی: استخراج فازور، الگوریتم فوریه تمام موج، حفاظت دیجیتال، رله OC/EF، مؤلفه DC میراشونده

### چکیده

یکی از نکات مهم در بهره برداری بهینه از سیستم های قدرت، رعایت ملاحظات حفاظت شبکه می باشد. حفاظت اضافه جریان به عنوان یکی از مهمترین طرح های حفاظتی به ویژه در سطح سیستم های توزیع برق مطرح است. عمده ترین تجهیزات به کار رفته در حفاظت اضافه جریان، رله های اضافه جریان می باشند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی دیجیتال، تحول شگرفی در طراحی و تولید نسل های جدید این رله ها به وجود آمده است. تحقیق حاضر نیز همگام با تحولات جهانی در این زمینه، در راستای طراحی و تولید نمونه نیمه صنعتی رله های دیجیتال گام برداشته است. از آنجایی که تاکنون رله های دیجیتال در داخل کشور به مرحله تولید نرسیده اند و نیز با توجه به نیاز روزافزون داخلی به این گونه تجهیزات، این کار می تواند اقدامی مثبت در جهت خودکفایی در این زمینه باشد. خروجی پروژه مذکور، یک رله دیجیتال

اضافه جریان فازی و خطای زمین می باشد که می تواند به طور گسترده در سطوح توزیع و فوق توزیع مورد استفاده قرار گیرد. سخت افزار و نرم افزار دستگاه به گونه ای طراحی شده است که بتواند بیشتر قابلیت های مورد نیاز را برای حفاظت اضافه جریان برآورده نماید. لازم به ذکر است که نرم افزار رله به نوعی تهیه شده که مؤلفه DC میراشونده موجود در سیگنال های جریان را با تکنیک استفاده از حاصل جمع های جزئی به نحو مطلوبی حذف می کند. پس از اتمام عملیات طراحی و ساخت، دستگاه در آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت پژوهشگاه نیرو تحت تست های استاندارد IEC آزمایش شده و مورد تأیید قرار گرفته است.

### ۱- مقدمه

رله ها را می توان با توجه به سیستم به کار گرفته شده در آنها به چهار گروه الکترومکانیکی، استاتیکی، دیجیتال و عددی

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

اصلی داده‌های نمونه‌برداری شده توسط سخت‌افزار را با روش مرسوم فوریه به دست آورد.

فرض اساسی که در سری‌های فوریه استفاده می‌شود این است که شکل موج جریان حاصل از شرایط خطا در بازه زمانی  $t_0$  تا  $t_0+T$  متناوب باشد. که  $T$  دوره تناوب مؤلفه اصلی سیگنال جریان است. با این فرض، شکل موج توسط سری فوریه قابل بسط و توسعه می‌شود. حال اگر بر اثر خطا در شبکه، مؤلفه DC میراشونده قابل توجهی در سیگنال جریان پدیدار گردد، می‌تواند بر روی دامنه تخمینی توسط الگوریتم فوریه تاثیر گذاشته و سبب انحراف آن نسبت به مقدار واقعی دامنه شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بدترین حالت، بیشترین خطای الگوریتم فوریه ناشی از مؤلفه DC میراشونده با استفاده از داده‌های اولین سیکل خطا دار، در حدود ۲۰٪ است که قابل قبول نمی‌باشد. باید توجه داشت که هرچه پنجره اطلاعات از لحظه وقوع خطا دور شود، مقدار انحراف تخمین کاهش می‌یابد که به دلیل کاهش دامنه مؤلفه DC میراشونده می‌باشد. اما در الگوریتم‌های حفاظتی، به جهت ممانعت از تأخیر عملکرد حفاظتی، تخمین پارامترهای ولتاژ و جریان، درست پس از تشخیص وقوع خطا صورت می‌گیرد و در چنین لحظاتی، اندازه مؤلفه DC میراشونده، مقداری قابل توجه است و لذا خطای الگوریتم نیز غیر قابل چشم‌پوشی خواهد بود.

در این بخش، ساختار الگوریتم فوریه بهبودیافته‌ای به منظور کاهش تأثیر مؤلفه DC میراشونده بر روی کارایی تخمین فازور الگوریتم فوریه معرفی می‌شود. در مورد سیگنال ورودی، مفروضات زیر را داریم:

الف) در سیگنال ورودی، هیچگونه زیرهارمونیک وجود ندارد.

ب) بزرگترین فرکانس هارمونیک سیگنال ورودی، کمتر از نصف فرکانس نمونه‌برداری است.

بدین ترتیب، سیگنال جریان ورودی به صورت زیر خواهد بود:

تقسیم کرد که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارند. از آنجایی که رله ساخته‌شده مورد بحث، جزء گروه رله‌های دیجیتال می‌باشد، در ادامه در رابطه با این نوع رله‌ها توضیحات لازم ارائه می‌شود.

با پیشرفت حاصل‌شده در فناوری دیجیتال، رله‌های حفاظتی دیجیتال مطرح شدند. ریزپردازنده‌ها و میکروکنترلرها جایگزین مدارهای آنالوگ مورد استفاده در رله‌های استاتیک جهت اجرای وظایف حفاظتی شدند. نمونه‌های اولیه رله‌های دیجیتال در دهه ۱۹۸۰ میلادی وارد بازار شدند. با توجه به پیشرفت‌های حاصل‌شده در ظرفیت پردازش، این رله‌ها را می‌توان برای بسیاری از موارد به کار گرفت. در مقایسه با رله‌های استاتیکی، رله‌های دیجیتال دارای مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال می‌باشند. این مبدل‌ها تمامی کمیت‌های اندازه‌گیری شده را به صورت دیجیتال تبدیل می‌کنند. در رله‌های دیجیتال، ریزپردازنده‌ها جهت پیاده‌سازی طرح‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ممکن است ریزپردازنده تعدادی از روش‌های محاسباتی و یا تبدیل فوریه گسسته را جهت اجرای الگوریتم مورد نظر به کار گیرد. لازم به ذکر است که قابلیت‌های فراهم‌شده توسط رله‌های دیجیتال، به مراتب بیشتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد. از این قابلیت‌ها می‌توان به تعداد تنظیمات بیشتر و دقت بالاتر اشاره کرد. به علاوه، در رله‌های دیجیتال امکان ارتباط رله با یک کامپیوتر به طور مستقیم و یا از طریق رسانه‌های مخابراتی فراهم می‌باشد. از دیگر مزایای رله‌های دیجیتال می‌توان به موارد:

۱. قابلیت اطمینان بالاتر، ۲. انعطاف‌پذیری بیشتر و ۳. آنالیز دقیق‌تر داده‌های مربوط به خطا اشاره کرد.

## ۲- حذف مؤلفه DC میراشونده و استخراج فازور مؤلفه اصلی

با توجه به اینکه در مراحل تشخیص لحظه وقوع خطا و محاسبه زمان عملکرد رله، نیاز به فازور مؤلفه اصلی (۵۰ هرتز) سیگنال‌های جریان داریم، لذا می‌بایست مؤلفه‌های

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$I_{new}(k) = I(k) - A_0 r^k \quad k = 0, 1, \dots, N \quad (10)$$

مقادیر فوق، فاقد مؤلفه DC میراشونده می‌باشند. با به‌کارگیری الگوریتم فوریه برای مجموعه سیگنال جدید، مؤلفه فرکانس اصلی سیگنال به طور دقیق تخمین زده می‌شود. بخش‌های حقیقی و موهومی فازور مؤلفه اصلی، با استفاده از روش انتگرال‌گیری مستطیلی مطابق روابط زیر به دست می‌آیند:

$$I_x = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} I_{new}(k) \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (11)$$

$$I_y = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} I_{new}(k) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (12)$$

## ۳- ساختار سخت‌افزاری و نرم‌افزاری دستگاه

## طراحی شده

رله طراحی شده شامل دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. قسمت سخت‌افزاری تقریباً دارای ساختار یکسانی در دستگاه‌های حفاظتی دیجیتال است. اما وجه تمایز اصلی دستگاه‌های حفاظتی که نوع عملکرد آن‌ها را مشخص می‌کند، در الگوریتم مورد استفاده آن‌ها در قسمت نرم‌افزار می‌باشد.

## ۳-۱- پیاده‌سازی سخت‌افزار رله دیجیتال

هسته اصلی سخت‌افزار سیستم را یک پردازشگر ۱۶ بیتی تشکیل می‌دهد که یک میکروکنترلر با قابلیت‌های ویژه می‌باشد. در داخل دستگاه، وجود مدارات آنالوگ و آماده‌سازی سیگنال که جزئی از سخت‌افزار سیستم به شمار می‌روند، غیرقابل اجتناب خواهد بود. بر این اساس، سخت‌افزار سیستم در دو بخش کلی زیر تشریح می‌شود:

- بخش ورودی و آماده‌سازی سیگنال
- بخش دیجیتال و رابط کاربر

## ۳-۱-۱- بخش ورودی و آماده‌سازی سیگنال

ولتاژها و جریان‌های موجود در سیستم قدرت نسبتاً بزرگ هستند و برای پردازش دیجیتال، کاهش این اندازه‌های اولیه به سطوح قابل اندازه‌گیری مناسب برای سیستم‌های دیجیتالی امری ضروری است. سپس سیگنال‌های آنالوگ به فرم دیجیتال تبدیل می‌شوند که در نتیجه، می‌توان پردازش عددی

$$i(t) = A_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + \sum_{m=1}^{N/2-1} A_m \sin(m\omega_1 t + \theta_m) \quad (1)$$

با نمونه‌برداری یکنواخت از این سیگنال با فواصل زمانی  $\Delta T$ ، مجموعه‌ای از مقادیر گسسته در هر سیکل فرکانس اصلی به دست خواهد آمد ( $N$  تعداد نمونه‌ها در یک سیکل فرکانس اصلی می‌باشد):

$$I(k) = A_0 r^k + \sum_{m=1}^{N/2-1} A_m \sin\left(\frac{2\pi k}{N} m + \theta_m\right) \quad (2)$$

که  $r = e^{-\frac{\Delta T}{\tau}}$  می‌باشد.

حال، دو مؤلفه حاصل جمع جزئی (Partial Sum Term) معرفی می‌شوند:

$$PS_1 = I(1) + I(3) + I(5) + \dots + I(N-1) \quad (3)$$

$$PS_2 = I(2) + I(4) + I(6) + \dots + I(N) \quad (4)$$

$PS_1$  و  $PS_2$  با جایگزینی رابطه (۲) در روابط بالا به دست می‌آیند.

$$PS_1 = \sum_{i=1}^{N/2} A_0 r^{2i-1} + \sum_{i=1}^{N/2} \sum_{m=1}^{N/2-1} A_m \sin\left(\frac{2\pi(2i-1)}{N} m + \theta_m\right) \quad (5)$$

با توجه به اینکه قسمت دوم از رابطه بالا بنا به خواص مثلثاتی برابر صفر است، لذا رابطه زیر برای  $PS_1$  بدست می‌آید:

$$PS_1 = A_0 \frac{r(r^N - 1)}{r^2 - 1} \quad (6)$$

به همین ترتیب رابطه زیر برای  $PS_2$  به دست می‌آید.

$$PS_2 = A_0 \frac{r^2(r^N - 1)}{r^2 - 1} \quad (7)$$

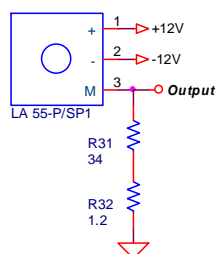
اکنون با توجه به روابط (۶) و (۷) پارامترهای مؤلفه DC میراشونده به دست می‌آیند:

$$r = \frac{PS_2}{PS_1} \quad (8)$$

$$A_0 = \frac{r^2 - 1}{r(r^N - 1)} PS_1 \quad (9)$$

یک بار که مقادیر  $r$  و  $A_0$  تخمین زده شوند، می‌توان مجموعه مقادیر نمونه‌برداری شده را با توجه به رابطه زیر اصلاح کرد:

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

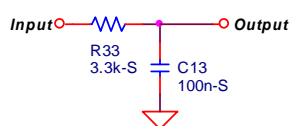


شکل (۱): شماتیک مداری CT و مدارات مربوطه

از آنجایی که خروجی CT‌های مذکور از نوع جریانی است، این جریان‌ها بایستی برای استفاده در مدارات دیجیتال تبدیل به ولتاژ شوند. این کار با قراردادن مقاومت‌های مناسب در خروجی CT امکان‌پذیر است. با توجه به اینکه در دستگاه طراحی شده نیازمند اندازه‌گیری ۳ ورودی جریان برای هر یک از فازها و نیز یک ورودی برای جریان باقی‌مانده‌ای می‌باشیم، لذا از چهار CT در این سیستم استفاده شده است.

ب) **فیلترهای پایین‌گذر:** نظریه نمونه‌برداری ایجاب می‌کند که اجزایی از سیگنال آنالوگ که بالاتر از فرکانس خاصی قرار دارند (که این فرکانس به نوبه خود وابسته به فرکانس نمونه‌برداری دیجیتال می‌باشد)، به منظور پرهیز از ایجاد خطا در پردازش‌های دیجیتال بعدی حذف شوند. در واقع، عمل ضدتثابتهی توسط فیلترهای پایین‌گذر انجام می‌شود. لذا این فیلترها باید به گونه‌ای طراحی شوند که اجزای سیگنال آنالوگ را در بالای فرکانس قطع به طور مناسبی حذف نمایند تا از اثر نویزها و دیگر سیگنال‌های فرکانس بالا در محاسبات دستگاه جلوگیری شود. این عمل توسط فیلترهای پایین‌گذر که در چهار ورودی آنالوگ دستگاه قرار گرفته‌اند، صورت می‌پذیرد (شکل ۲).

این فیلتر فرکانس اصلی ۵۰ هرتز را به خوبی عبور داده و فرکانس‌های بالاتر را حذف می‌کند (فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر طراحی شده، تقریباً ۵۰۰ هرتز می‌باشد).



شکل (۲): شماتیک مداری فیلتر پایین‌گذر به کار رفته

موردنظر را بر روی آنها پیاده کرد تا وضعیت مدار از نظر عملکرد عادی و یا وجود خطا در سیستم تعیین شود. در اینجا به تشریح اصول اساسی آماده‌سازی سیگنال و نیز مدارات طراحی شده خواهیم پرداخت:

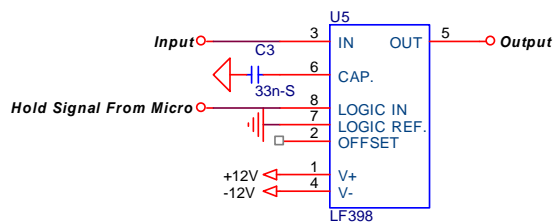
**الف) مبدل‌ها:** معمولاً جریان‌ها و ولتاژهای سیستم قدرت نسبتاً بزرگ هستند، بنابراین قبل از اینکه این سیگنال‌ها به رله اعمال شوند، باید به مقادیر بسیار کوچکتری کاهش یابند. به طور متعارف در شبکه‌های قدرت، جریان‌ها به سطح ۱ یا ۵ آمپر تبدیل می‌شوند و ولتاژها به مقدار ۱۱۰ ولت کاهش می‌یابند. این امر، عموماً با استفاده از مبدل‌های جریان و ولتاژ اولیه انجام می‌شود (CT ها و VT ها). ولی در رله‌های دیجیتال علاوه بر این‌ها، با استفاده از مبدل‌های کمکی و یا امپدانس‌های میمیک در ورودی سیستم، اندازه سیگنال‌های ولتاژ و جریان بیشتر کاهش می‌یابند تا برای اجزایی که از آن‌ها استفاده می‌کنند، مناسب شوند. در ساخت رله دیجیتال طراحی شده، از CT‌های LA55-P/SP1 ساخت شرکت LEM سوئیس استفاده شده است. اصول عملکرد این CT‌ها بر مبنای اثر هال می‌باشد.

این CT‌ها جهت اندازه‌گیری سیگنال‌های AC، DC، پالسی و ... کاربرد دارند. در این CT‌ها قسمت‌های ورودی و خروجی از همدیگر ایزوله می‌باشند. جریان نامی آنها ۵۰ آمپر بوده و قابلیت اندازه‌گیری جریان‌های ۰ تا ۱۰۰ آمپری را دارا می‌باشند. نسبت تبدیل این CT‌ها ۲۰۰۰:۱ می‌باشد. برای تغذیه این CT‌ها می‌توان از ولتاژهای  $\pm 12$  یا  $\pm 15$  ولت استفاده کرد که در این پروژه از  $\pm 12$  ولت استفاده شده است. محدوده عملکرد دمایی این CT‌ها از  $25^{\circ}$  تا  $85^{\circ}$  سانتیگراد می‌باشد. از دیگر مزایای این CT‌ها می‌توان به دقت عالی، عملکرد خطی بسیار خوب، زمان پاسخ بهینه شده (کمتر از یک میکروثانیه) و داشتن ایمنی بالا در برابر تداخل خارجی اشاره کرد. شکل (۱) نشان دهنده مدارات استفاده‌شده برای به‌کارگیری وسیله مذکور می‌باشد.

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

اطمینان از آن که تبدیل آنالوگ به دیجیتال مربوط به زمان موردنظر می‌باشد و مدت‌زمان تبدیل روی کد دیجیتال حاصل تأثیری ندارد، قبل از مبدل آنالوگ به دیجیتال یک مدار نگهدارنده قرار داده می‌شود که مقدار آنالوگ ورودی را در حین نمونه‌برداری ثابت نگه می‌دارد. بخشی از این مدار واسطه آنالوگ سیستم، شامل مداراتی است که در فواصل زمانی معین که به آن پررود نمونه‌برداری می‌گوییم، از سیگنال ورودی با فرکانس ۸۰۰ هرتز (۱۶ نمونه در سیکل) نمونه‌برداری کرده و در یک حافظه آنالوگ ذخیره‌سازی می‌کنند.

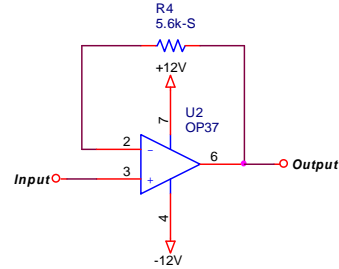
لازم به ذکر است که میکروکنترلر استفاده‌شده در اینجا، دارای یک مدار نمونه‌برداری و نگهدارنده داخلی می‌باشد که بعد از مالتی‌پلکسر آنالوگ داخلی آن قرار گرفته است. اما از آنجایی که ما باید در هر پررود نمونه‌برداری از چندین کانال ورودی نمونه‌برداری کنیم، جهت سنکرونیزاسیون سیگنال‌های ورودی از مدارهای نمونه‌بردار و نگهدارنده خارجی در این طرح استفاده شده است (شکل ۵). این آی‌سی برای عملکرد، نیاز به سیگنال فرمان (یک لبه بالارونده) از سوی میکروکنترلر دارد که به ازای هر نمونه به پایه ۸ آن اعمال می‌شود. این فرمان، همزمان به هر چهار آی‌سی که در کانال‌های ورودی قرار دارند، اعمال می‌شود.



شکل (۵): شماتیک مدار نمونه‌گیر و نگهدارنده

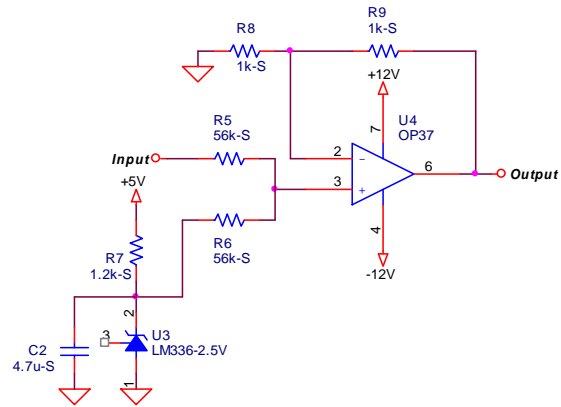
ه) **محدودکننده ولتاژ:** برای جلوگیری از آسیب‌رسیدن به قسمت‌های دیجیتال دستگاه، در ورودی‌های آن یک محدودکننده ولتاژ قرار داده شده است. در صورتی که به هر دلیلی سطح ولتاژ ورودی از محدوده مجاز تجاوز کند، این محدودکننده سطح ولتاژ را محدود می‌نماید تا از آسیب‌رسیدن به بخش دیجیتال دستگاه جلوگیری شود (شکل ۶).

برای حذف اثر مدار جمع‌کننده بر روی فیلتر و مدار خروجی CT پس از فیلترهای مذکور، از یک طبقه بافر استفاده شده است (شکل ۳).



شکل (۳): شماتیک مداری بافر به‌کاررفته

ج) **افزودن آفست DC:** با توجه به این که محدوده عملکرد مبدل آنالوگ به دیجیتال در فاصله ۰ تا ۵ ولت می‌باشد، لذا لازم است که سیگنال‌های ورودی به این سطح آورده شوند. در مورد سیگنال‌های جریان، با افزودن یک مقدار DC به اندازه ۲/۵ ولت، این تغییر سطح انجام می‌شود. به عبارت دیگر، این سیگنال‌ها با مقدار ۲/۵ ولت جمع زده می‌شوند تا به سطح موردنظر منتقل شوند (شکل ۴). لازم به ذکر است که سیگنال ۲/۵ ولت مرجع با استفاده از آی‌سی ولتاژ مرجع LM336-2.5V تولید می‌گردد.



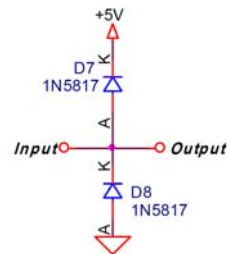
شکل (۴): شماتیک مدار اضافه‌کننده آفست DC

د) **مدار نمونه‌گیر و نگهدارنده:** از آنجایی که در حین نمونه‌برداری از یک سیگنال ورودی مقدار این سیگنال ثابت نیست، جهت جلوگیری از ایجاد اشتباه در تبدیل سیگنال آنالوگ به کد دیجیتال در مبدل آنالوگ به دیجیتال و برای

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

فرکانس عملکرد، تعداد بیت (چندبیتی بودن پردازنده)، میزان حافظه قابل آدرس‌دهی، میزان تجهیزات جانبی و قابلیت‌های کنترلی هر نسل به انتخاب پردازنده مناسب پرداخت. با توجه به عوامل فوق، در انجام این پروژه بین سرعت پردازش و قابلیت‌های کنترلی و جانبی مصالحه انجام شد و میکروکنترلر ۱۶-بیتی از خانواده MCS-96 (80C196 KC) برای این کار مناسب تشخیص داده شد. تعدادی از قابلیت‌های میکروکنترلر به کار گرفته شده به شرح زیر می‌باشند:

**الف) تایمر سنگ نگهبان (Watch-dog timer) ۱۶-بیتی:** که در مواقع لزوم و در هنگام هنگ‌کردن، سیستم را بازنشانی (Reset) می‌کند. این تایمر، روشی برای جبران مشکلات نرم‌افزار است.

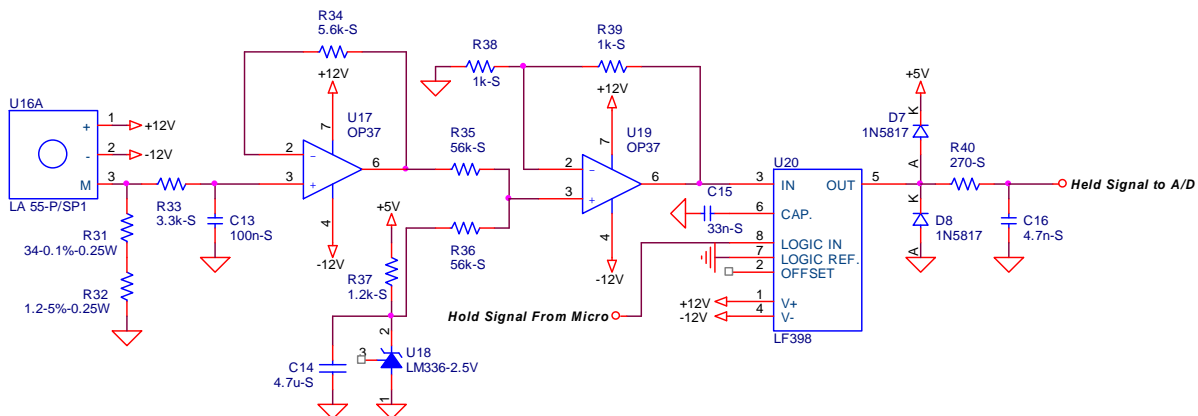


شکل (۶): شماتیک مدار محدودکننده ولتاژ

بعد از این مدار، بنا به توصیه سازنده میکروکنترلر از یک فیلتر پایین‌گذر در ورودی A/D استفاده شده است. شکل (۷) یک کانال از ورودی‌های جریان را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۲- بخش دیجیتال و رابط کاربر

در مورد پردازنده می‌توان با توجه به پارامترهایی از قبیل



شکل (۷): شماتیک مداری یک کانال از ورودی‌های جریان

۱/۴ میکروثانیه (با کریستال ۲۰ مگاهرتز) انجام می‌گیرد و تقسیم یک عدد ۳۲-بیتی به یک عدد ۱۶-بیتی نیز ۲/۴ میکروثانیه طول می‌کشد.

**ج) مبدل آنالوگ به دیجیتال همراه با مدار نمونه‌بردار و نگهدارنده داخلی:** این مبدل توانایی تبدیل به صورت ۱۰-بیتی و ۸-بیتی با امکان تعیین سرعت تبدیل را داراست. این قسمت شامل یک نمونه‌گیر و نگهدارنده (Sample and Hold)، یک مالتی پلکسر ۸ کاناله و مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۰-بیتی با روش تقریبات متوالی است. سیگنال‌های آنالوگ را می‌توان به هر یک از ورودی‌های

با فعال کردن این تایمر، در واقع یک بازنشانی سخت‌افزاری برنامه‌ریزی می‌شود. مگر آنکه نرم‌افزار در هر ۶۴ کیلو زمان وضعیت (State time) آن‌را پاک کند. بازنشانی‌های سخت‌افزاری در این میکروکنترلر باعث صفرشدن پایه Reset و ایجاد سیگنال بازنشانی برای کلیه اجزای سیستم می‌شود. این تایمر به طور کلی مستقل از تمام تایمرهای دیگر می‌باشد. Self-Checking نرم‌افزاری با استفاده از این تایمر انجام می‌گیرد که در جای خود توضیح داده خواهد شد.

**ب) سرعت پردازش بالاتر نسبت به نمونه‌های قبلی:** برای مثال ضرب دو عدد ۱۶-بیتی توسط این میکروکنترلر در زمان

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

27C256 استفاده شده است که یک حافظه ۳۲ کیلوبایتی می‌باشد.

(ب) حافظه RAM: این حافظه جهت حفظ نتایج میانی محاسبات توسط ریزپردازنده استفاده شده و محتوای آن قابل تغییر است. برای این مورد از حافظه RAM موجود در داخل آی‌سی ساعت استفاده شده است.

(ج) آی‌سی ساعت زمان حقیقی: برای مشخص کردن و ثبت زمان وقوع تریپ بهره‌گرفته شده است. در واقع با استفاده از این آی‌سی و به کمک نرم‌افزار، در هنگام وقوع هر تریپ، یک برچسب زمانی نیز به آن نسبت داده می‌شود که مشخص‌کننده زمان وقوع تریپ است. در این طرح از آی‌سی به شماره 48T35 استفاده شده است که علاوه بر عملکرد زمان‌سنجی، دارای ۳۲ کیلوبایت حافظه RAM غیرفرار می‌باشد. این آی‌سی توانایی محاسبه سال، ماه، روز، ساعت، دقیقه، ثانیه را داشته و میکروکنترلر می‌تواند در موقع لزوم آن را برنامه‌ریزی کند. این آی‌سی زمان را به صورت میلادی محاسبه می‌کند. 48T35 توسط یک باتری پشتیبانی می‌شود و در صورت قطع ولتاژ خارجی نیز توانایی محاسبه زمان را دارا می‌باشد. این حافظه برای نگهداری تنظیمات رله که توسط کاربر قابل تغییر می‌باشند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ارتباط کاربر با دستگاه از طریق پورت سریال (کانکتور ۹ پین با پروتکل RS232) و نیز از طریق صفحه‌کلید و نمایشگر LCD ۱۶\*۲ نصب شده بر روی دستگاه برقرار می‌شود. کاربر می‌تواند تنظیمات دستگاه را از طریق صفحه‌کلید موجود بر روی آن و یا از طریق پورت سریال و با استفاده از یک برنامه که بر روی کامپیوتر شخصی نصب شده است، به دستگاه منتقل کند. نتایج عملکرد دستگاه روی یک نمایشگر LCD که بر روی آن تعبیه شده است، با استفاده از صفحه‌کلید روی دستگاه قابل دسترسی و نمایش می‌باشند.

در شکل (۸) نحوه اتصالات میکروکنترلر 80C196KC، حافظه EPROM 27C256، آی‌سی ساعت 48T35 نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برای آدرس‌دهی مناسب حافظه‌ها از آی‌سی 74HC573 که یک نگهدارنده آدرس

هشت‌گانه (ACH0~ACH7) متصل کرد ضمن آن که این ورودی‌ها با پورت صفر مشترک هستند.

(د) پورت سریال دو جهته: پورت سریال میکروکنترلرهای خانواده MCS-96 کاملاً با خانواده MCS-51 سازگار است. یک مد سنکرون و سه مد آسنکرون در این پورت وجود دارد. مدهای آسنکرون مدهای دوطرفه هستند. به این معنا که عملیات ارسال و دریافت به طور همزمان انجام می‌شود. دریافت‌کننده دارای ۲ عدد بافر است. به طوری که بایت دوم قبل از خواندن بایت اول دریافت می‌شود. فرستنده نیز ۲ بافر دارد. به طوری که بایت دوم پیش از ارسال کامل بایت اول نوشته می‌شود.

(ه) دو عدد تایمر ۱۶-بیتی: تایمر ۱ برای همزمان کردن رخدادها (Events) با زمان واقعی استفاده می‌شود در حالی که تایمر ۲ می‌تواند دارای کلاک خارجی باشد و وقایع داخلی را با اتفاقات خارجی همزمان نماید. از این تایمر می‌توان به عنوان شمارنده صعودی / نزولی ۱۶-بیتی نیز استفاده کرد.

(و) تعداد پورت‌های ورودی / خروجی زیاد: پنج پورت ۸-بیتی به عنوان I/O که در مجموع شامل ۴۰ خط I/O می‌گردد.

(ز) توانایی کار در محدوده وسیع دمای محیط: این میکروکنترلر قادر به کار در دمای محیط ۴۰- تا ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

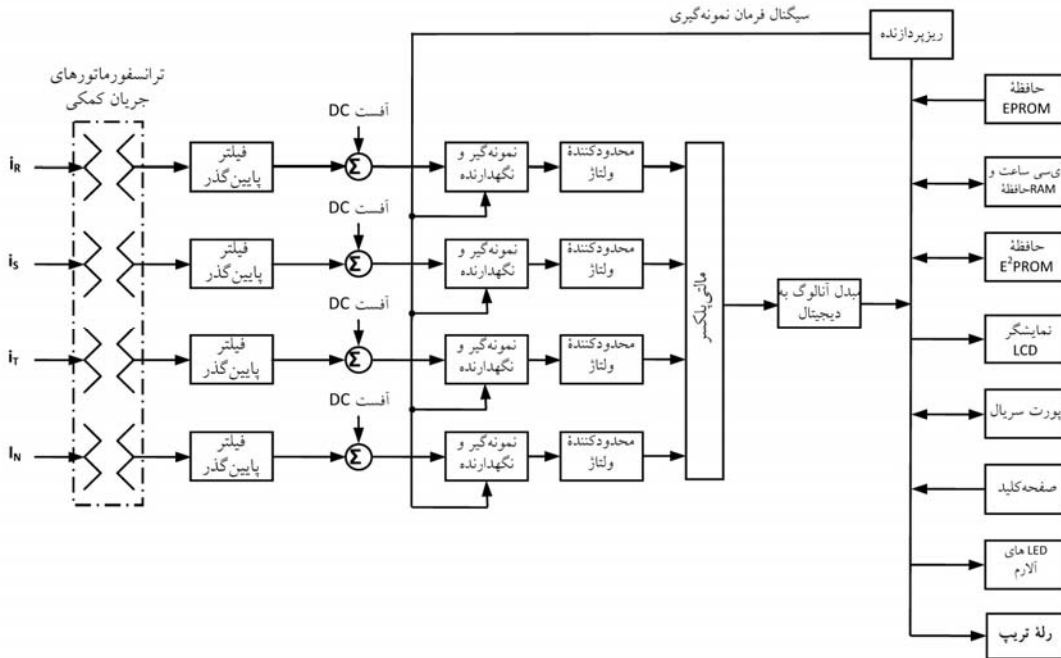
(ح) توانایی انجام محاسبات ممیز شناور، ۴ تایمر نرم‌افزاری ۱۶-بیتی، توانایی کار با کریستال‌های ۳/۵ مگاهرتز تا ۲۰ مگاهرتز، ۲۸ مرجع وقفه بسیاری از امکانات فوق در ساخت نمونه موردنظر به کار گرفته شده‌اند که هر یک در جای خود حجم سخت‌افزار موردنیاز را به حداقل ممکن کاهش داده‌اند. علاوه بر میکروکنترلر به کار گرفته شده، در بخش دیجیتال بخش‌هایی با توجه به خواص موردنیاز به کار گرفته شده‌اند که به صورت زیر می‌باشند:

(الف) حافظه EPROM: این حافظه که محتوای آن در حین کار پاک نمی‌شود، برنامه اصلی عملکرد رله را در خود نگهداری می‌کند. در این طرح، از EPROM به شماره

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

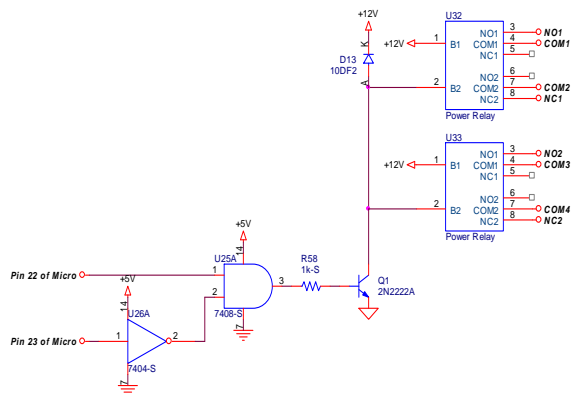
می‌باشد. یک کانکتور ۲۰ پین برای ارتباط با برد جلویی دستگاه است که شامل سیگنال‌های ارتباط با LCD، صفحه‌کلید ۶ تایی، پورت سریال و LED های آلام می‌باشد.

است، استفاده شده است. همچنین برای ارتباط با پورت سریال رایانه، از آی‌سی MAX232 که سیگنال‌ها را به سطح ولتاژ مناسب تبدیل می‌کند، بهره گرفته شده است. کریستال مورد استفاده در مدار فوق، یک کریستال ۲۰ مگاهرتزی



شکل (۸): شماتیک مداری بخش دیجیتال

یک ترانزیستور داده می‌شود تا رله‌های خروجی را تحریک نماید. شماتیک مدار تریپ در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۹): شماتیک مداری بخش تریپ

### ۳-۱-۳- بخش خروجی تحریک رله تریپ

این بخش دارای رله‌هایی می‌باشد که در صورت صدور فرمان تریپ، آنها به قسمت‌های خروجی دستگاه منتقل می‌کنند. رله‌های به کاررفته در این سیستم از رله‌های کامپکت ساخت شرکت NAIS می‌باشند. این رله‌ها دارای دو کنتاکت مستقل هستند که می‌توانند به صورت NO (Normally open) و NC (Normally close) مورد استفاده قرار گیرند. کنتاکت‌های این رله‌ها قابلیت قطع جریان ۵ آمپری AC (در ولتاژ ۲۵۰ ولت) و DC (در ولتاژ ۳۰ ولت) را دارا می‌باشند. از دیگر ویژگی‌های این رله‌ها، زمان عملکرد سریع آنهاست. به طوری که در کمتر از ۱۵ میلی‌ثانیه عمل می‌کنند. جهت اطمینان یافتن از ناخواسته نبودن فرمان تریپ، از دو پین میکرو برای ارسال فرمان استفاده شده است که یک مدار منطقی ساده فرمان تریپ نهایی را صادر می‌کند. در نهایت فرمان صادرشده به

### ۳-۱-۴- بخش تغذیه

این بخش شامل یک منبع تغذیه انعطاف‌پذیر می‌باشد که قادر است محدوده وسیعی از ولتاژهای AC و DC (۸۰ تا ۲۲۰

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

مود ارتباطی سریال نیز در این قسمت انتخاب می‌شود.

ج) زیرروال راه‌اندازی تایمرها: در این بخش، تایمرهای ۱

و ۲ میکروکنترلر مقداردهی اولیه شده و راه‌اندازی می‌شوند.

د) زیرروال راه‌اندازی ساعت زمان-حقیقی: این زیرروال

با مقداردهی رجیسترهای RTC آن را راه‌اندازی می‌کند تا

جهت خواندن و ثبت زمان و تاریخ، آماده شود.

شکل (۱۰): بلوک دیاگرام سخت‌افزاری رله دیجیتال

ه) راه‌اندازی وقفه‌ها: در این قسمت وقفه‌های به‌کاررفته در

سیستم به بردار وقفه متناظرشان آدرس‌دهی شده و فعال

می‌شوند. وقفه‌های به‌کاررفته در این سیستم، شامل: وقفه

Timer1، وقفه Timer2، وقفه پورت سریال و وقفه خارجی

(برای استفاده صفحه‌کلید) می‌باشند. در مورد وقفه‌ها لازم به

ذکر است که زمان محاسبه‌شده جهت عملکرد رله در داخل

Timer1 بارگذاری می‌شود که پس از سپری شدن این زمان،

وقفه Timer1 فراخوانی شده و فرمان تریپ به کنتاکت‌های

خروجی رله صادر می‌شود. Timer2 نیز با زمان متناسب با

فرکانس نمونه‌برداری از کانال‌های ورودی (۸۰۰ هرتز)

بارگذاری می‌شود که پس از هر سرریز این تایمر، وقفه

مربوط به آن فراخوانی شده و عملیات نمونه‌برداری از

کانال‌های ورودی انجام می‌گیرد. علاوه بر این، پاک‌کردن و

راه‌اندازی مجدد تایمر سگ‌نگهبان در داخل روتین وقفه

Timer2 انجام می‌گیرد. لذا هر ۱٫۲۵ میلی‌ثانیه تایمر سگ

نگهبان راه‌اندازی مجدد می‌شود تا مانع از سرریز شدن آن

گردد. در صورتی که مشکلی برای نرم‌افزار پیش آید، این

تایمر سرریز کرده و باعث ریست شدن سیستم می‌شود که در

این حالت LED های آلام به صورت چشمک‌زن در می‌آیند.

به این ترتیب Self-Checking نرم‌افزاری موردنظر برای

سیستم فراهم می‌شود.

### ۳-۲-۲-۲-۳-۲-۳ بخش وصل - خط (On Line) نرم‌افزار

در این بخش از تمام کانال‌های ورودی با فرکانس ۸۰۰ هرتز

(۱۶ نمونه در سیکل) و به صورت سنکرون نمونه‌برداری

ولت) را به عنوان ورودی دریافت کرده و به ولتاژهای مختلف

موردنیاز دستگاه ( $\pm 12$ ) با قابلیت جریان‌دهی ۰٫۲ آمپر و ۵

ولت با قابلیت جریان‌دهی ۲ آمپر) تبدیل نماید. این قسمت

به صورت یک واحد جداگانه در قسمت داخلی دستگاه بر

روی بدنه تعبیه شده است.

جهت بخش ظاهری دستگاه، ارتباط با کاربر و اطلاع از

وضعیت عملکرد رله و نیز پیاده‌سازی کلیدها با توجه به

قابلیت‌های بالای پانل‌های Membrane برای کار در

محیط‌های صنعتی، این نوع پانل برای دستگاه انتخاب گردید

که طراحی شده و بر روی سیستم نصب گردیده است. در

شکل (۱۰) بلوک دیاگرام کلی سخت‌افزار سیستم تشریح شده

است.

### ۳-۲-۳ پیاده‌سازی نرم‌افزارهای محاسباتی و ارتباطی

جهت پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در سیستم رله طراحی شده، از

زبان برنامه‌نویسی C استفاده شده است. کدهای C با استفاده

از کامپایلر به کدهای اسمبلی تبدیل شده و در نهایت به

صورت داده‌های دودویی در داخل EPROM بارگذاری شده

است. نرم‌افزار نوشته‌شده شامل چند بخش عمده می‌باشد:

### ۳-۲-۱-۳ قسمت راه‌اندازی سیستم و بارگذاری تنظیمات

قبل از اینکه دستگاه وارد مود محاسباتی شود، لازم است

تنظیمات دستگاه بر روی آن بارگذاری شده و بخش‌های

مختلف آن راه‌اندازی شوند. در اینجا برخی از زیرروال‌های

عمده برای راه‌اندازی سیستم، عنوان شده‌اند:

الف) زیرروال بررسی حافظه RAM و اطمینان‌یافتن از

صحت تمامی بایت‌های آن: این زیرروال با نوشتن و خواندن

در تمامی بایت‌های RAM و مقایسه این دو مقدار با هم، صحت

آن را بررسی می‌کند. این قسمت در عمل بخشی از Self-

Checking سیستم بوده و در صورت بروز مشکلی در RAM،

اخطار مناسبی داده و عملکرد کل سیستم را متوقف می‌نماید.

ب) زیرروال راه‌اندازی پورت سریال: این زیرروال با تعیین

نرخ ارسال و دریافت و تخصیص پین‌های مربوطه در

میکروکنترلر، پورت سریال آن را راه‌اندازی می‌کند. در ضمن

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

سیکل موردنظر را به عنوان پارامتر ورودی گرفته و فازور آن را در خروجی باز می‌گرداند. برای این کار از روش حاصلجمع‌های جزئی و الگوریتم فوریه تمام موج ۱۶ نمونه‌ای استفاده شده است که بخشی از نمونه برنامه نوشته شده برای آن در زیر آورده شده است. که در آن  $Samples[i]$  بیانگر نمونه  $i$  ام از فاز و سیکل موردنظر می‌باشد.

ه) **زیرروال تشخیص وقوع خطا:** پس از اتمام نمونه‌گیری از یک سیکل و ذخیره‌سازی آن، این زیرروال با استخراج فازور سه کانال جریان فازی و یک کانال جریان باقی‌مانده‌ای مربوط به سیکل قبل و مقایسه آن‌ها با مقادیر تنظیم جریانی، وقوع خطا را بررسی می‌کند. استفاده از داده‌های سیکل قبلی برای مقایسه، به این منظور صورت می‌گیرد که در صورت تشخیص خطا، به داده‌های بعد از خطا نیز دسترسی داشته باشیم. در این قسمت اگر جریان محاسبه شده از مقدار تنظیم آنی رله فراتر رود، بدون وارد شدن به محاسبات قطع - خط نرم‌افزار، فرمان تریپ صادر می‌شود.

### ۳-۲-۳- بخش قطع - خط (Off Line) نرم‌افزار

در صورت تشخیص وقوع خطا، این قسمت اجرا می‌شود. در این بخش، نمونه‌برداری از کانال‌های ورودی برای لحظاتی متوقف می‌گردد و دستگاه وارد قسمت محاسباتی مربوط به تعیین نوع خطا می‌شود تا مشخص شود که حفاظت اضافه‌جریان عمل کند یا حفاظت خطای زمین. پس از تشخیص نوع خطا، الگوریتم مربوط به محاسبه زمان عملکرد رله اجرا می‌شود و در صورت پایداری شرایط خطا پس از سپری شدن زمان به‌دست آمده، دستور تریپ صادر می‌شود. در عین حال، زمان وقوع تریپ نیز از آی‌سی ساعت خوانده شده و به همراه نوع تریپ در حافظه ذخیره می‌شود. بعد از ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به تریپ، نرم‌افزار مجدداً وارد قسمت وصل - خط خود می‌شود.

لازم به ذکر است که اگر در این قسمت نیز جریان محاسبه شده از مقدار تنظیم آنی فراتر رود، بدون وارد شدن به محاسبات وقت‌گیر زمان عملکرد، فرمان تریپ بلافاصله صادر

می‌شود و این نمونه‌ها در یک حافظه چرخشی ذخیره می‌گردند. در هر سیکل، فازورهای مربوط به جریان‌های سه فاز و نیز جریان باقی‌مانده‌ای پس از حذف مؤلفه DC میراشونده محاسبه گشته و در ادامه، این فازورها با مقدار تنظیم جریانی مقایسه می‌شوند. در صورت تشخیص خطا، نرم‌افزار وارد بخش قطع - خط خود می‌شود، در غیر این صورت همین بخش برای هر سیکل ادامه پیدا می‌کند. زیرروال‌های عمده استفاده شده برای پیاده‌سازی این قسمت، به شرح زیر می‌باشند:

**الف) زیرروال‌های مربوط به نمونه‌گیری از کانال‌های ورودی:** در این زیرروال‌ها سیگنالی با فرکانس ۱۶ برابر فرکانس شبکه برای نمونه‌برداری از سیگنال‌های جریان به آی‌سی‌های نمونه‌گیر و نگهدارنده خارجی اعمال می‌شود. خروجی این آی‌سی‌ها به قسمت ورودی آنالوگ میکروکنترلر متصل می‌باشد که با ارسال فرامین مقتضی از سوی این زیرروال‌ها، عمل تبدیل سیگنال‌ها در مبدل آنالوگ به دیجیتال انجام می‌گردد. سیگنال‌های تبدیل شده، در یک حافظه بافر ذخیره می‌گردند.

**ب) زیرروال ذخیره‌سازی بافر در حافظه چرخشی:** این زیرروال پس از اتمام عمل گرفتن ۱۶ نمونه (یک سیکل)، آن‌ها را در حافظه‌ای چرخشی که شامل ۴ سیکل از داده‌های جریان می‌باشد، ذخیره‌سازی می‌کند. وجود این ۴ سیکل، نرم‌افزار را قادر می‌سازد تا در صورت تشخیص خطا در یک سیکل، به اطلاعات قبل از خطا (Pre-fault) و بعد از خطا (Post-fault) دسترسی داشته باشد.

**ج) زیرروال جابجایی سیکل‌های ذخیره شده:** این زیرروال در صورت عدم تشخیص خطا، داده‌های ذخیره شده را به اندازه یک سیکل جابجا می‌کند. به طوری که جایگاه اول برای ذخیره کردن بافر آزاد شده و داده‌های جایگاه آخر که قدیمی‌ترین نمونه‌ها بودند، حذف می‌شوند.

**د) زیرروال استخراج فازور:** در این قسمت فازورهای مربوط به سیگنال‌های جریان پس از حذف مؤلفه DC میراشونده محاسبه می‌گردند. این زیرروال، شماره فاز و

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

ج) زیرروال جابجایی اطلاعات تریپ‌های اخیر: این زیرروال در هنگام رخداد یک تریپ از سوی دستگاه، ساعت، تاریخ، نوع تریپ (فازی یا خطای زمین) و نوع عملکرد (آنی یا زمان تأخیری) آنرا ثبت می‌نماید. به دلیل قابلیت ثبت تعداد محدودی از تریپ‌های اعمالی رله، در دستگاه طراحی شده تنها اطلاعات مربوط به ۶ تریپ اخیر ثبت و نگهداری می‌شود. بنابراین نیاز است تا در صورت وقوع تریپ جدید، ابتدا داده‌ها و اطلاعات تریپ‌های اخیر جابجا شود (که در صورت پر بودن این صف، اطلاعات قدیمی‌ترین تریپ حذف خواهد شد). سپس داده‌ها و اطلاعات مربوط به تریپ جدید ذخیره می‌شوند.

د) زیرروال ثبت زمان تریپ: این زیرروال بلافاصله پس از وقوع تریپ، ساعت و تاریخ آنرا ذخیره می‌نماید تا در گزارش تریپ بتوانند نمایش داده شوند. روندنمای نرم‌افزار رله دیجیتال در شکل (۱۱) آمده است.

### ۳-۲-۴- قسمت ارتباط با کاربر

این قسمت شامل زیرروال‌های ارتباط سریال (نرم‌افزار سریال بر روی میکروکنترلر و نرم‌افزار PC)، کار با صفحه‌کلید و نیز نمایش اطلاعات بر روی نمایشگر LCD می‌باشد. این بخش، کاربر را قادر می‌سازد تا تنظیمات دستگاه را به طور مناسب انتخاب کرده و به دستگاه اعمال نماید و اطلاعات موجود در آنرا قرائت نماید. رله ساخته شده قابلیت اتصال به کامپیوتر و ارتباط با آنرا از طریق نرم‌افزار تهیه شده دارد. به کمک این نرم‌افزار که منوی اصلی آن در شکل (۱۲) نشان داده شده است، کاربر می‌تواند تنظیمات رله را بر روی PC بخواند و یا تنظیمات جدید را به آن اعمال نماید. همچنین می‌تواند اطلاعات مربوط به تریپ‌های اخیر را که در یک فایل متنی با عنوان Report.txt ذخیره می‌شوند، بر روی PC مشاهده کند.

می‌شود. زیرروال‌های عمده استفاده شده در این قسمت، به شرح زیر می‌باشند:

الف) زیرروال تعیین نوع خطا: پس از تشخیص وقوع خطا، نرم‌افزار وارد این زیرروال می‌شود. در این قسمت، فازورهای جریانی با به کارگیری داده‌های سیکل پس از خطا محاسبه شده و با استفاده از جریان فازی یا باقی‌مانده‌ای محاسبه شده مشخص می‌گردد که خطا مربوط به فازها بوده و یا درگیر با زمین است.

ب) زیرروال محاسبه زمان عملکرد رله: این زیرروال با استفاده از جریان پس از خطای محاسبه شده در زیرروال قبلی، نوع خطا و تنظیمات رله، زمان عملکرد آن را با توجه به منحنی انتخاب شده توسط کاربر، محاسبه می‌کند و Timer1 را با آن مقدار بارگذاری می‌کند و بلافاصله وارد قسمت وصل-خط نرم‌افزار می‌شود تا برقراری شرایط خطا را در شبکه چک کند. پس از سپری شدن زمان فوق و برقراری شرایط خطا، وقفه Timer1 فعال شده و فرمان تریپ صادر می‌گردد. برای مثال چنانچه کاربر برای عملکرد زمان کاهشی یکی از منحنی‌های استاندارد IEC (C1~C5) را انتخاب نموده باشد، زمان عملکرد رله از معادلات منحنی مشخصه‌های مذکور مطابق روابط زیر محاسبه می‌شود:

جدول (۱): معادلات منحنی مشخصه‌های استاندارد IEC (C1~C5)

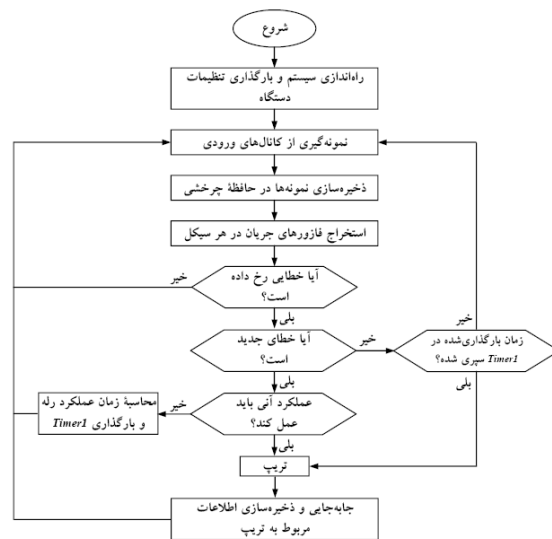
$t_p = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0.02} - 1} \times TD$	مشخصه C1 (کاهشی استاندارد)
$t_p = \frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_n}\right) - 1} \times TD$	مشخصه C2 (خیلی کاهشی)
$t_p = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1} \times TD$	مشخصه C3 (به شدت کاهشی)
$t_p = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_n}\right) - 1} \times TD$	مشخصه C4 (کاهشی زمان بلند)
$t_p = \frac{0.05}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0.04} - 1} \times TD$	مشخصه C5 (کاهشی زمان کوتاه)

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

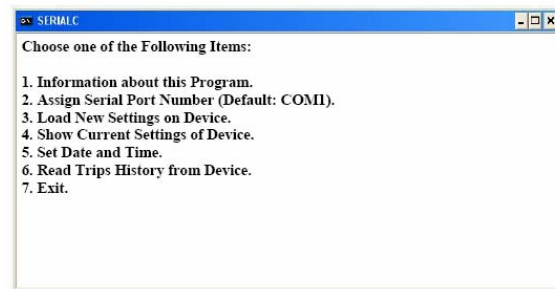
کانکتور مناسب برای این بخش انتخاب گردید. بردهای این دستگاه که شامل ۲ برد اصلی و نمایشگر می‌باشد، متناسب با اندازه‌های جعبه با استفاده از نرم‌افزارهای Orcad9.1 و Protel99SE طراحی شده و در آزمایشگاه مونتاژ گردید.



شکل (۱۳): شکل ظاهری رله دیجیتال ساخته‌شده



شکل (۱۱): روندنمای نرم‌افزار رله دیجیتال



شکل (۱۲): نمایی از منوی اصلی نرم‌افزار رابط سریال (طرف PC)

### ۴- ویژگی‌ها و مشخصات الکتریکی دستگاه ساخته‌شده

#### ۴-۱- ویژگی‌های کلی دستگاه

ویژگی‌های کلی دستگاه به شرح زیر می‌باشند:

- انتخاب یکی از منحنی مشخصه‌های زمان تأخیری،  $C_1$  تا  $C_5$  مطابق استاندارد IEC برای هر یک از رله‌های اضافه‌جریان و اتصال زمین

- انتخاب عملکرد زمان ثابت برای هر یک از رله‌های اضافه‌جریان و خطای زمان به طور مجزا و در محدوده وسیع زمانی

- عملکرد آنی برای هر یک از رله‌های اضافه‌جریان و خطای زمین

- محدوده وسیع (با گام‌های کوچک ۰/۰۱) برای تنظیم پارامترهای (زمانی و جریانی) دستگاه

- قابلیت مشاهده پارامترهای دستگاه و نیز سابقه عملکرد رله در تریپ‌های اخیر بر روی صفحه نمایشگر LCD

- تنظیم پارامترهای دستگاه از طریق صفحه‌کلید

- تنظیم پارامترها و ساعت دستگاه از طریق پورت سریال

- انتقال تاریخچه تریپ‌های اخیر به رایانه از طریق پورت سریال

### ۳-۳- طراحی جعبه و بردها

یکی از چالش‌های مرحله نهایی طراحی دستگاه، انتخاب یا طراحی جعبه مناسب برای کل سیستم می‌باشد. این مرحله که حتی طراحی برد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، باید فاکتورهایی مانند حفاظت بخش‌های داخلی در برابر آلودگی و نویز شدید پست، ایمنی جانی فرد کاربر، تناسب با نیازهای کاربر دستگاه، استحکام کافی در محیط‌های خشن صنعتی و شکل ظاهری مناسب را داشته باشد. از این رو با توجه به جعبه‌های موجود در بازار، جعبه‌ای انتخاب گردید که بتواند بخش عمده‌ای از نیازمندی‌های مذکور را پوشش دهد (شکل ۱۳). کانکتورهای بخش ورودی نیز باید نیازمندی‌های استحکام بالا، ایمنی کاربر، توانایی عبور جریان‌های بالای حین خطا و ... را داشته باشند که با توجه به این موارد،

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- حداکثر زمان عملکرد آنی: ۷۰ میلی‌ثانیه
- کلاس دقت: ۰.۵٪
- بردن نامی ورودی‌های جریان: کمتر از ۱ ولت آمپر
- بردن نامی تغذیه: DC-۶ وات، AC-۱۲ ولت آمپر
- ظرفیت نامی کلیدزنی کنتاکت‌های خروجی:
- - ۵ آمپر و ۲۵۰ ولت AC
- - ۵ آمپر و ۳۰ ولت DC
- حداکثر قدرت کلیدزنی کنتاکت‌های خروجی: ۱۲۵۰VA
- برای AC و ۱۵۰W برای DC
- حداکثر زمان عملکرد کنتاکت‌ها: ۱۵ میلی‌ثانیه
- ابعاد دستگاه: ۱۸۷\*۱۵۴\*۶۲ میلی‌متر

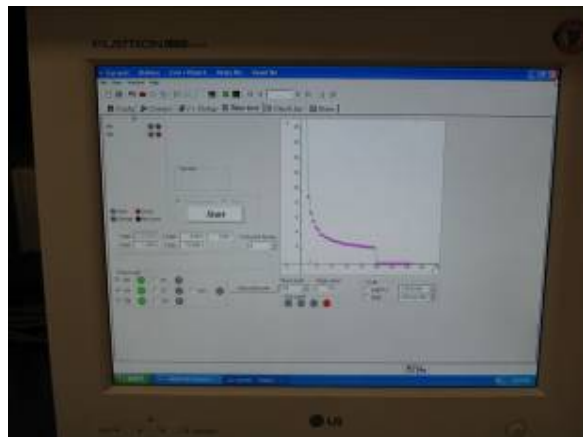
#### ۴-۲-۱- محدوده تنظیمات رله اضافه‌جریان:

- عملکرد مدهای زمان تأخیری و زمان ثابت:
- تنظیم جریانی ( $I_s$ ):  $I_n * (0.5 \text{ تا } 2.4)$  در گام‌های  $I_n * 0.1$
- تنظیم زمانی برای مود زمان تأخیری: ۰.۰۵ تا ۱.۰۵ در گام‌های ۰.۰۱
- زمان عملکرد برای مود زمان ثابت: ۱ تا ۱۰۰ ثانیه در گام‌های ۰.۰۱ ثانیه‌ای
- عملکرد مود آنی:
- تنظیم جریانی:  $I_n * (0.5 \text{ تا } 2.0)$  در گام‌های  $I_n * 0.1$
- حداکثر زمان عملکرد: ۰.۰۷ ثانیه

#### ۴-۲-۲- محدوده تنظیمات رله خطای زمین:

- عملکرد مدهای زمان تأخیری و زمان ثابت:
- تنظیم جریانی ( $I_s$ ):  $I_n * (0.1 \text{ تا } 0.8)$  در گام‌های  $I_n * 0.1$
- تنظیم زمانی برای مود زمان تأخیری: ۰.۰۵ تا ۱.۰۵ در گام‌های ۰.۰۱
- زمان عملکرد برای مود زمان ثابت: ۱ تا ۱۰۰ ثانیه در گام‌های ۰.۰۱ ثانیه‌ای
- عملکرد مود آنی:
- تنظیم جریانی:  $I_n * (0.1 \text{ تا } 4)$  در گام‌های  $I_n * 0.1$
- حداکثر زمان عملکرد: ۰.۰۷ ثانیه

- منبع تغذیه با نویز پایین تعبیه شده در داخل دستگاه با محدوده وسیعی از ولتاژهای ورودی (AC و DC)
- LED های مجزا برای نمایش عملکردهای آنی و زمان تأخیری دستگاه
- چهار عدد کنتاکت مجزا در خروجی دستگاه (۲ کنتاکت NO و ۲ کنتاکت NC)
- بردن AC پایین دستگاه
- پس از اتمام عملیات طراحی و ساخت، دستگاه در آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت پژوهشگاه نیرو تحت تستهای استاندارد IEC آزمایش شده و اطلاعات فنی، فیزیکی و شرایط کار سیستم که به قرار زیر است، مورد تأیید قرار گرفته است (شکل ۱۴).



شکل (۱۴): آزمایش رله دیجیتال ساخته شده مطابق منحنی مشخصه‌های استاندارد IEC

#### ۴-۲-۳- مشخصات الکتریکی دستگاه

- مشخصات الکتریکی دستگاه به شرح زیر می‌باشند:
- جریان نامی ( $I_n$ ): ۱ یا ۵ آمپر
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ولتاژ ورودی تغذیه ۲۲۰ ... ۸۰ ولت (AC و DC) - ولتاژ نامی: ۱۱۰ ولت DC پست
- قابلیت تحمل حرارتی پیوسته در هر یک از ورودی‌های جریان: ۲۰ آمپر
- قابلیت تحمل حرارتی کوتاه‌مدت (۱ ثانیه) در هر یک از ورودی‌های جریان: ۱۵۰ آمپر

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

### ۵- مراجع

- [۱] صادق جمالی، "حفاظت سیستم‌های قدرت"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۸۴
- [2] A.T. Johns, S.K. Salman "Digital protection for power systems", Peter Peregrinus Ltd. London, UK, 1995.
- [۳] حمید سرداری، "استخراج فازور برای مقاصد حفاظتی و اندازه‌گیری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، فروردین ۱۳۸۵
- [4] Y. Guo, et. al. "Simplified Algorithms for Removal of the Effect of Exponentially Decaying DC-Offset on the Fourier Algorithm", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, July 2003, pp. 711-717.
-