مراحل طراحی و ساخت RTU[1] به‌عنوان بخشی از شبکه کامپیوتری کنترل و نظارت پست‌های برق

مهندس میرهوشنگ خورسند ــ مهندس حمید قزل ایاغ

فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر کریم فائز

استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

در این مقاله تجارب حاصل از اجرای یک پروژه دانشگاهی در زمینهٔ طراحی و ساخت RTU خلاصه شده و آلگوریتم طراحی سیستم RTU بصورت مدون و تحلیلی بیان گردیده است. در این زمینه به‌مسائل زیر پرداخته شده است:

ــ انتخاب شبکهٔ کامپیوتری مناسب برای برقراری ارتباط بین ایستگاه مرکزی و ایستگاه‌های راه دور،

ــ مدولار نمودن طرح در جهت افزایش قابلیت اطمینان، قابلیت توسعه، و قابلیت انعطاف،

ــ انتخاب باس سیستم با توجه به‌حجم فیزیکی موردنیاز و پارامترهای مربوط به‌قابلیت توسعه و اطمینان،

ــ تقسیم‌بندی وظائف سیستم بین مدول‌ها،

ــ معیارهای انتخاب CPU، حافظه‌ها، مدارهای زمان‌سنج، مدارهای مخابره و مدارهای واسطه با توجه به‌حجم عملیات، و بهینه‌سازی کیفیت، بازدهی، و هزینه،

ــ مبانی طراحی و تلگرام مخابره برای رسیدن به‌بازدهی مطلوب

ــ طراحی نرم‌افزار STRUCTURED برای تضمین انعطاف‌پذیری و قابلیت توسعه و تکامل سیستم.

The RTU Design & Implementation Steps in a Computerized Control System for Substations

M.H. Khorsand, M.Sc. — H. Ghezelayagh, M.Sc. — K. Faez, Ph.D.

Elect. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech.

ABSTRACT:

The growing need for computerized supervisory control of electric power stations is described and an analytic step by step procedure for designing an RTU as a part of the supervisory control system is introduced.

Reliability, expandability and flexibility of RTU system is considered and a modular design is resulted. Tools for implementation of such a system based on microprocessor technology are discussed with notes on the choice of system bus, system CPU, system timer, communication circuits and interfaces maintaining optimum quality, efficiency and cost. Also basic needs of a suitable communication protocol are reviewed along with modules of a structured software.

۱ــ مقدمه

امروزه استفاده از سیستمهای کامپیوتری جهت نظارت و کنترل پستهای برق امر ناشناخته‌ای نیست. در واقع هم اکنون در اغلب ممالک توسعه یافته جهان، شبکه‌های کامپیوتری وظیفه نظارت و کنترل شبکه‌های قدرت را بر عهده گرفته‌اند. در کشور ما نیز از وجود شبکه متمرکز کنترل پست‌های برق استفاده می‌شود.

قابل ذکر است که پیدایش میکروپروسسورها انقلاب عظیمی در کلیه

زمینه‌های صنعتی از جمله در عرصه کنترل شبکه‌های قدرت به‌وجود آورده است. میکروکامپیوترهاو سیستمهای میکروپروسسوری، به‌سادگی و با هزینه کم وظایف محاسباتی و عملیاتی را با قابلیت اطمینان زیاد در بخشهای مختلف سیستم به‌عهده می‌گیرند و با استفاده از شبکه‌های مخابراتی با یکدیگر ارتباط برقرار نموده، اطلاعات و فرامین را مبادله می‌نمایند. از سوی دیگر با استفاده از مانیتور و MMI[۲] ارتباط سیستم با انسان برقرار گردیده، اخذ اطلاعات و صدور فرمان‌ها از این طریق صورت می‌گیرد.

سرعت زیاد و قابلیت‌های فزاینده پردازشی میکروپروسسورها موجب ارتقای همزمان سرعت، دقت و قابلیت اطمینان سیستم می‌گردد. از سوی دیگر تراشه‌های میکروپروسسوری که بلطف پیشرفت تکنولوژی با هزینهٔ نسبتا" کمی قابل دسترسی می‌باشند، موجب کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات سیستم می‌گردند. بدین‌ترتیب که به‌راحتی می‌توان با استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری مقدمات لازم جهت سرویس بخشهای مختلف را فراهم نمود. و از طرفی درصورت بروز اشکال در سیستم محل عیب را با سهولت بیشتری ردیابی کرده و به‌کمک داده‌های ثبت شده در حافظه به‌بررسی علل بروز عیب پرداخت. بدین‌ترتیب می‌توان به‌طور خلاصه چنین گفت که استفاده از میکروپروسسورها عمل نظارت و کنترل پست‌های فشار قوی را آسان‌تر و مطمئن‌تر می‌نماید.

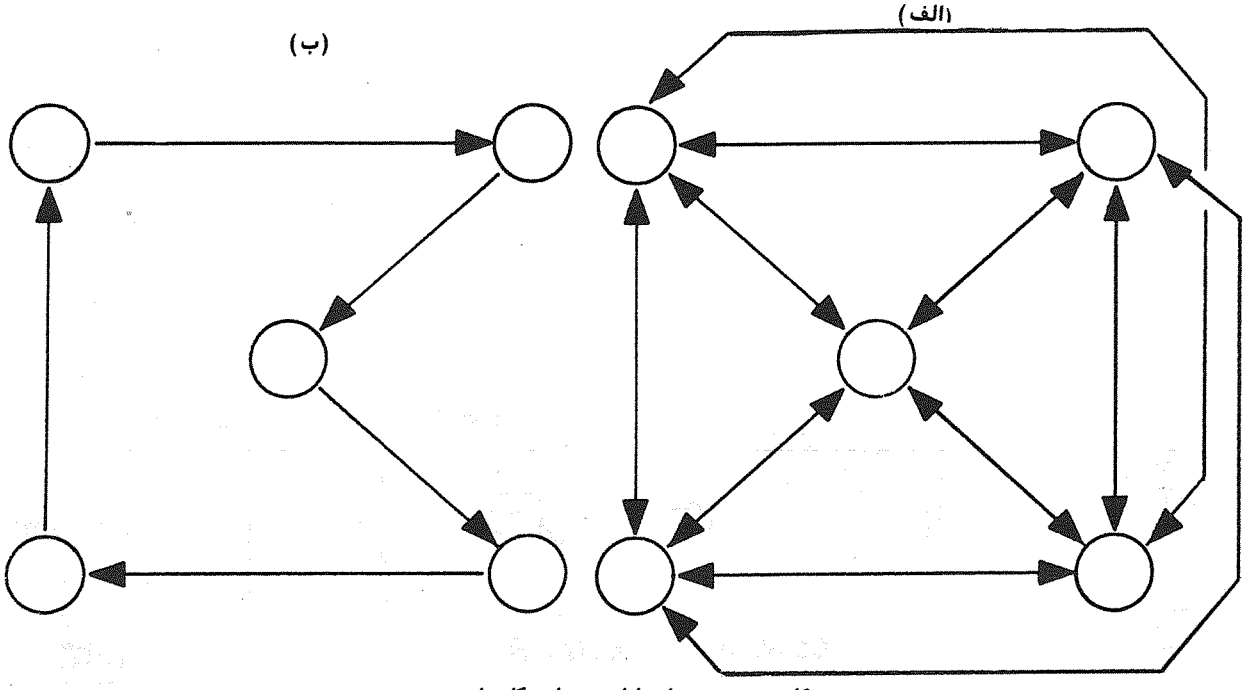
مطالبی که در بالا ارائه شد تصویری کلی از یک سیستم کنترل دیجیتالی پست‌های فشار قوی را ترسیم می‌نماید. اما اندیشیدن در جهت طراحی چنین سیستمی به‌نگرشی دقیق‌تر نیاز دارد. از این رو سعی می‌شود که حتی‌المقدور بخشهای مختلف سیستم از یکدیگر تفکیک گردیده و هر بخش به‌اختصار توضیح داده شود.

۲ــ معماری شبکهٔ نظارت و کنترل

سیستمهای نظارت و کنترل عموما" با جمع‌آوری داده‌های مختلف از بخشهای گوناگون فرآیند موردنظر، به‌انجام پردازشهای لازم بر روی داده‌های مزبور پرداخته، پس از مقایسهٔ نتایج با معیارهای مطلوب، تصمیمات متقضی را در رابطه با فرآیند اتخاذ می‌نمایند و اپراتور را در انتخاب تدابیر صحیح یاری می‌کنند. بدیهی است که انجام تمام این وظایف توسط یک دستگاه همه‌کاره و "سراسری" نه‌تنها ضرورتی ندارد بلکه اصولا" صحیح هم نیست. زیرا اولا" تجمع همه عناصر سیستم در یک دستگاه موجب بروز اختلال‌های "حالت مشترک" می‌شود بدین‌ترتیب که خرابی یک بخش سیستم گسترش یافته و بخشهای دیگر را نیز مختل می‌نماید و در این حالت عیب‌یابی دشوار خواهد بود، ثانیا" در اکثر موارد برای اتخاذ تصمیم درمورد وضعیت مدار شکن‌ها و ترانسفورمرها در یک پست، لازم است که اطلاعات کافی از پست‌های دیگر نیز در دست باشد. دراین‌صورت یا باید هر پست از طریق مخابره با پست‌های دیگر در ارتباط باشد و به‌تبادل داده بپردازد، یا این که کلیه پست‌ها در هر ناحیه اطلاعات خود را به‌یک ایستگاه مرکزی مخابره نمایند و پردازش نهایی و اتخاذ تصمیم در ایستگاه مزبور صورت گیرد. مورد اول یعنی مرتبط شدن هر پست با پست‌های دیگر به‌دو روش امکان‌پذیر است.

الف ــ ایجاد لینک مخابراتی بین هر دو پست موجود در ناحیه موردنظر (شکل ۱ــ الف)

ب ــ استفاده از یک باس حلقوی مانند TOKEN RING بدین‌ترتیب که بسته اطلاعات از ایستگاهی به‌ایستگاه دیگر در حرکت بوده و هر ایستگاه ضمن برداشت نمودن اطلاعات موردنیاز اطلاعات مربوط به



شکل ۱ــ دو روش ارتباطی بین ایستگاهها:

الف ــ هر ایستگاه بوسیله لینگ مخابراتی مستقیم با ایستگاههای دیگر مربوط می‌گردد.

ب ــ بسته اطلاعات از یک ایستگاه به‌ایستگاه دیگر منتقل می‌شود.

خود را نیز در بسته اطلاعاتی REFRESH می‌نمایند (شکل ۱ــ ب) روش اول مستلزم صرف هزینه زیادی است و روش دوم برد عملیاتی کمی داشته و در این سطح قابل اجرا نمی‌باشد. بنابراین در حال حاضر و با امکانات موجود مناسب‌ترین و مقرون به‌صرفه‌ترین راه همان مخابره اطلاعات به‌یک ایستگاه مرکزی است تا این که ایستگاه مزبور وظیفه پردازش نهایی و صدور فرامین را به‌انجام رساند و یا به‌عنوان یک گره واسطه عمل نموده و اطلاعات را به‌ایستگاه مادر ارسال کند. نمایش بلوکی چنین سیستمی در شکل ۲ــ الف نشان داده شده است.

همان‌طوری که در شکل ۲ــ الف ملاحظه می‌شود وظیفه جمع‌آوری اطلاعات و انجام پردازش‌های اولیه و مخابره آنها به‌گره‌های واسطه FEP[3] بر عهده سیستم‌های پروسسوری است که در محل پست نصب گردیده و RTU نامیده می‌شوند. هر گره واسط FEP اطلاعات مزبور را از چندین RTU (معمولا" حداکثر ۱۶ RTU) جمع‌آوری نموده و پس از انجام برخی پردازش‌های ضروری دیگر، آنها را از طریق پورت‌های سریال یا پارالل در اختیار کامپیوتر مرکزی قرار می‌دهد و نیز فرامین صادره را در جهت عکس منتقل می‌کند. ویژگی‌های کامپیوتر مرکزی با توجه به‌حجم کل اطلاعات درمورد پردازش تعیین می‌گردد و می‌تواند از یک میکروکامپیوتر شخصی (PC)[4] تا یک کامپیوتر پیچیده و گران‌قیمت (MAINFRAME) تغییر کند. در اینجا این سئوال مطرح می‌شود که اگر یک میکروکامپیوتر برای برآوردن نیازهای سیستم کافی است، پس‌چرا از FEP هم استفاده می‌گردد یا این که چرا وظایف PC به‌عهده FEP گذارده نمی‌شود؟ پاسخ این سئوال به‌شرایط سیستم مورد نظارت و به‌بیان دیگر به‌حجم اطلاعات مورد پردازش بستگی دارد. به‌این معنی که درصورت زیاد بودن میزان اطلاعاتی که باید مورد پردازش نهایی قرار گیرند، زمان لازم برای انجام پردازش‌های ضروری (مثل "پخش‌بار"[5]، و یا "تخمین حالت"[6] به‌اندازه‌ای خواهد بود که ضرورتا" وظایف مخابراتی و واسطه به‌عهده کامپیوترهای پایانه‌ای گذارده می‌شود.

بحث پیرامون هریک از بخشهای سیستم، فصلی جداگانه و مفصل را طلب می‌نماید. در اینجا تنها به RTU به‌عنوان یکی از بخشهای آساسی سیستم نظارت و کنترل پست‌های برق می‌پردازیم. ابتدا خطوط کلی را که برای طراحی چنین سیستمی باید شناخت ترسیم نموده و سپس ملاحظاتی را که در فرآیند عمل می‌بایست مد نظر قرار گیرد ذکر می‌نماییم.

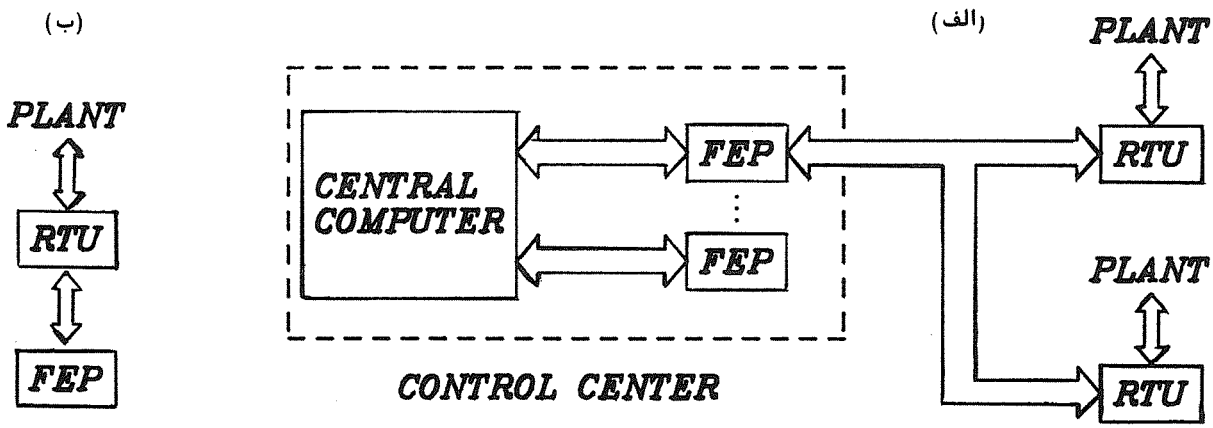
۳ــ طراحی *RTU* به‌عنوان بخشی از سیستم نظارت و کنترل

۳ــ۱ــ *خطوط کلی در طراحی RTU*

از دیدگاه کلی RTU یک سیستم میکروپروسسوری کوچک است که از سویی با فرآیند حساس و در عین حال حیاتی (برق) و از سوی دیگر با سیستم میکروپروسسوری FEP در ارتباط دوجانبه است (شکل ۲ــ ب) طبیعت و خصوصیات این دو نوع رابطه اساس طراحی RTU را تعیین می‌کند.

حساسیت فرآیند برق و لزوم عملکرد مطمئن و بی‌وقفه آن طبعا" ایجاب می‌نماید که RTU به‌عنوان عنصری که نقش رابط سیستم کنترل با فرآیند مزبور را به‌عهده دارد، خود از ساختاری قابل اطمینان برخوردار بوده، تعمیرات و نگهداری آن نیز به‌سهولت امکان‌پذیر باشد. علاوه بر این در نقاطی که تاکنون فقط مجهز به‌دستگاههای حفاظتی و نظارتی معمولی آنالوگ بودند، نصب RTU دیجیتالی نباید به‌ایجاد تغییرات اساسی و صرف هزینه زیاد احتیاج داشته باشد. به‌عبارت دیگر RTU مورد طراحی باید قادر به‌تطابق با همان تجهیزات آنالوگ و دیجیتال نصب شده در پست (که ساخت کارخانجات مختلفی نیز هستند) باشد. درغیراین‌صورت سیستم طرح شده مقرون به‌صرفه نخواهد بود. در عین حال باید توجه داشت که درصورت افزایش تجهیزات پست (مثلا" افزایش تعداد ترانسفورمرها و به‌تبع آن افزایش تعداد پارامترهای مورد اندازه‌گیری و کنترل) تبدیل و هماهنگ‌سازی RTU با تغییرات به‌وجود آمده باید حتی‌المقدور به‌سهولت و بدون نیاز به‌تعویض RTU امکان‌پذیر باشد. طرح RTU می‌بایست تا حد امکان انعطاف‌پذیر بوده و با پیشرفت تکنولوژی و بوجود آمدن سیستم‌های مدرن‌تر، دستگاه مزبور بدون استفاده نماند، بلکه بتواند با تغییرات جزئی با پیشرفت‌های فوق تطابق پیدا کند.

درمورد رابطه RTU با FEP نیز همین نوع مسائل مطرح است. برای



شکل ۲ــ
الف ــ RTU به‌عنوان بخشی از سیستم نظارت و کنترل
ب ــ هر RTU از یکسو با فرآیند مورد کنترل و از سوی دیگر با FEP در ارتباط است.

افزایش قابلیت اطمینان باید تدابیر لازم برای جلوگیری از تداخل نویز و غیره اندیشیده شود. همچنین RTU باید بتواند همواره قابلیت تطابق با دستگاههای FEP جدیدتر و ساخت کارخانجات مختلف را حفظ نماید. باید توجه داشت که هرFEP با چندین RTU در تماس است از این رو انتخاب روش ارتباطی و مخابراتی مناسب باعث می‌شود تا از تداخل پیام‌ها جلوگیری شده و راندمان مطلوب در انتقال اطلاعات کسب گردد.

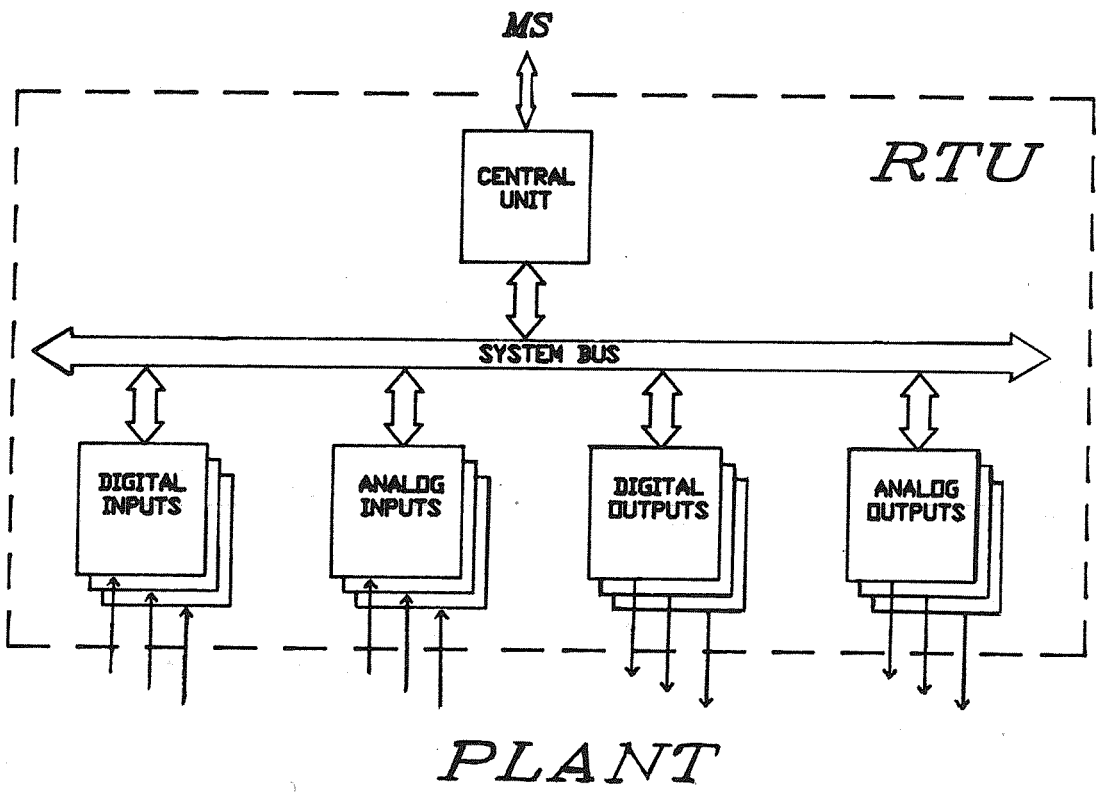
۳ـ۲ـ مراحل طراحی سخت‌افزار مناسب برای RTU

اکنون می‌توان با دیدی دقیق‌تر به‌ساختار فیزیکی سیستم RTU اندیشیده و راه‌حل‌های مناسب را در هر زمینه یافت. بدون شک ساختاری مناسب که بتواند به‌طور همزمان نیازهای قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری، تطابق و قابلیت توسعه را برآورده سازد، یک ساختار مدولار (واحدمند) است. بدین معنی‌که بخش‌های قابل تفکیک سیستم بر روی بوردهای جداگانه‌ای نصب شده و ارتباط آنها از طریق یک بورد رابط (BACKPLANE) برقرار گردد. بدین‌ترتیب از عیوب "حالت مشترک" اجتناب شده و در شرائط عادی امکانات تعبیه عناصر"ذخیره و افزون"[۷] در سیستم نیز بالا می‌رود. همچنین سرویس و تعمیر سیستم به‌سهولت و فقط با تعویض یک یا چند بورد صورت می‌گیرد. درصورت نیاز به‌توسعه سیستم نیز می‌توان به‌راحتی با افزودن بوردهای جدید بر قابلیت‌های سیستم افزود. و نیز لازم است که تطابق سیستم با پیشرفت تکنولوژی از طریق اصلاح نرم‌افزاری یا سخت‌افزاری بخشهائی از سیستم (معمولا" بوردی که دارای میکروپروسسور است) عملی گردد بدون آن که نیاز به‌تغییر سایر بخش‌های آن باشد. (شکل ۳)

۳ـ۲ـ۱ـ انتخاب باس سیستم

اما مدولار بودن سیستم نیاز به‌استفاده از یک باس برای برقراری ارتباط بین مدول‌ها را مطرح می‌نماید. امروزه اغلب پدیده‌های علمی و صنعتی براساس ضوابط و استانداردهای معینی ساخته می‌شوند. بنابراین لزوم انتخاب یک باس استاندارد مناسب روشن می‌شود. ضوابطی که توسط سازمان‌های جهانی استاندارد مانند ISO[۸]، CCITT[۹] IEEE[۱۰] و IEC[۱۱] برای استاندارد نمودن باس‌ها در نظر گرفته شده‌اند با توجه به‌امکانات و ساختمان میکروپروسسورهای مختلف (از نظر سیگنال‌ها و زمانبندی آنها حین اجرای عملیات) و به‌حداقل رساندن اختلالاتی چون "تداخل سیگنال‌های مجاور"[۱۲]، نویز و غیره انتخاب و تحریر گردیده‌اند. بهنگام طراحی باس‌های استاندارد سعی شده است که تا حد ممکن بر قابلیت‌های سیستم باس افزوده شده و امکانات مالتی پروسسینگ، اینترایت‌دهی و غیره گسترش یابد. بنابراین بکارگیری و انتخاب یک استاندارد نه‌تنها سیستم مورد طراحی را در خانواده دستگاههای مبتنی بر آن استاندارد قرار داده و تطبیق‌پذیری آن را بیمه می‌نماید، بلکه قابلیت اطمینان آن را نیز با استفاده از مزایای پیش‌بینی شده در استاندارد ترقی می‌دهد.

با روشن شدن این مطلب لزوم انتخاب یک باس استاندارد مناسب برای برآوردن نیازهای سیستم معلوم می‌گردد. لذا باید قبل از این انتخاب، نیازهای سیستم را شناخت. به‌همین جهت اندکی دقیق‌تر به ساختار مدولار سیستم توجه می‌کنیم.



شکل ۳ـ ساختار مدولار RTU

بدون شک مرکز و قلب سیستم مدولی است که در آن میکروپروسسور قرار دارد (در اینجا فقط سیستم تک‌میکروپروسسوری را در نظر می‌گیریم). این مدول را با نام "واحد مرکزی" یا (CU)[13] مشخص می‌کنیم. در این مدول تمام یا بخشی از حافظه‌ها و مدارهای واسطه ارتباط با خارج از مدول قرار می‌گیرند به‌طوری که می‌توان ادعا نمود که مدول مزبور یک "کامپیوتر تک بوردی"[14] است. اما این سیستم به مدولهای دیگری نیز برای ارتباط با فرآیند قدرت نیاز دارد. تعدادی از این نوع بوردها با توجه به‌تفکیک وظائف عبارتند از:

الف) مدول ورودی دیجیتال[15] برای کسب اطلاعات دیجیتالی فرآیند قدرت (مانند وضعیت مدارشکن‌ها و کلیدها)

ب) مدول ورودی آنالوگ[16] برای کسب اطلاعات آنالوگ فرآیند (مانند ولتاژها و جریان‌ها)

ج) مدول خروجی دیجیتال[17] به‌منظور صدور فرامین دیجیتال (دائمی و یا پالسی) قابل اجرا بر روی فرآیند

د) مدول خروجی آنالوگ[18] به‌منظور تهیه سیگنال آنالوگ لازم برای دستگاههای اندازه‌گیری و یا تنظیم شونده

بدیهی است که همه بوردها از طریق مدارهای واسطه باس با مدول واحد مرکزی در ارتباط بوده و بنا به‌وظیفه‌ای که بر عهده‌شان نهاده شده، تبادل اطلاعات می‌نمایند. مدول واحد مرکزی با برقراری ارتباط با مدول‌های ورودی، کلیه اطلاعات آنها را جمع‌آوری نموده و پس از انجام پاره‌ای پردازش‌های لازم آنها را به FEP واقع در "ایستگاه مرکزی" (MS)[19] مخابره می‌نماید. در ضمن مدول واحد مرکزی فرامین دریافت شده از MS را ترجمه و تحلیل نموده و در صورت قابل اجرا بودن آنها را به‌مدول‌های خروجی صادر می‌نماید تا بر روی فرآیند عمل کنند.

بخش‌های دیگر سیستم عبارتند از منبع تغذیه، و مدولهایی که ممکن است بنا به‌اقتضای فرآیند برق به‌سیستم اضافه شوند (بطور مثال مدول "ورودی شمارش پالس"[20] برای محاسبه پارامترهای افزایشی به‌کار می‌رود).

با این آشنایی مختصر، چند نکته تعیین‌کننده و مهم روشن می‌گردند که باید در انتخاب باس استاندارد در نظر گرفته شوند:

ـ باس استاندارد موردنظر باید با سیگنال‌ها و زمانبندی‌های میکروپروسسور سیستم هماهنگی داشته باشد. به‌بیان دیگر در انتخاب باس باید دقت شود که حتی‌المقدور امکان استفاده از میکروپروسسورهای مختلف ۸ و ۱۶ بیتی، با سرعت و قابلیت‌های عملیاتی متفاوت وجود داشته باشد. عدم وابستگی باس به‌تنها یک نوع میکروپروسسور باعث می‌شود تا چنانچه پس از مدتی شرائط فرآیند (مثلا" افزایش حجم محاسبات و نیاز به‌سرعت بیشتر) اقتضا نماید که به‌جای میکروپروسسور ۸ بیتی از میکروپروسسور ۱۶ بیتی استفاده شود، باس مزبور و اکثر مدول‌های جانبی آن بی‌مصرف و غیرقابل استفاده نشوند.

ـ اندازه بوردها در استاندارد باس باید با شرائط طرح سازگار باشد. به‌عنوان مثال در اغلب پست‌ها تعداد ورودیهای دیجیتال قابل ملاحظه است. از طرفی تعداد کل بوردهای هر باس در استانداردها محدود است. بنابراین تعداد ورودیهای دیجیتال که در یک بورد متمرکز می‌شوند به‌اجبار زیاد خواهد بود (۱۶ یا ۳۲) علاوه بر این مدار واسطه باس نیز طبعا" در بورد مزبور قرار می‌گیرند. لذا بورد باید سطح کافی برای جا دادن این همه قطعه را داشته باشد از طرفی بزرگی بیش از حد بوردها موجب می‌گردد تا حجم سیستم افزایش یابد و علاوه بر این امکان شکستن بورد به‌هنگام نصب و تعمیر نیز پدید آید.

ـ با توجه به‌محدودیت تعداد مدول‌ها در باس باید به‌گونه‌ای امکان گسترش دامنه عمل باس در استاندارد پیش‌بینی شده باشد تا درصورت نیاز بتوان حیطه عمل RTU را بسط داد.

ـ یکی از مشخصه‌های اولیه هر باس، سنکرون یا آسنکرون بودن آن است. در باس سنکرون‌مدول واحد مرکزی پس از آدرس نمودن مدولهای جانبی، بدون تامل اطلاعات موردنظر را از روی باس می‌خواند. این نوع باس در مواردی مناسب است که سرعت عملیاتی عناصر مدول‌ها از سرعت CPU کمتر نباشد. اما در شرایط کلی ممکن است برخی عناصر نتوانند به‌موقع به CPU پاسخ دهند. مثلا" ممکن است به‌دلیل صرفه اقتصادی یا شرایط بازار ترجیح داده شود که در مدول ورودی دیجیتال، اطلاعات در رجیسترهای کندتر ذخیره شوند. دراین‌صورت استفاده از باس سنکرون موجب می‌شود تا قبل از معتبر شدن داده‌های آدرس شده بر روی باس مدول واحد مرکزی سیکل خواندن را با کسب داده‌های غلط به‌پایان ببرد. لذا در این حالت باس آسنکرون مناسب‌تر است. در این نوع باس مدول واحد مرکزی پس از آدرس کردن هر مدول به‌انتظار تصدیق مثبت از آن مدول می‌ماند و تنها پس از دریافت تصدیق به‌مبادله اطلاعات اقدام می‌نماید.

۳ـ۲ـ۲ـ انتخاب پردازنده

ـ انتخاب میکروپروسسور مناسب اگر همزمان با انتخاب باس با توجه به‌نیازهای طرح (مانند حجم اطلاعات و سرعت موردنیاز) صورت بگیرد مشکلی ایجاد نمی‌کند. البته در انتخاب میکروپروسسور باید به‌قابل دسترس بودن و امکان تهیه میکروپروسسور و تراشه‌های جانبی آن نیز توجه نمود.در شرائط عادی یک میکروپروسسور ۸ بیتی با سرعت متوسط حدود ۴ مگاهرتز کافی است.

۳ـ۲ـ۳ـ مبانی طراحی واحدهای اساسی سیستم

پس از انتخاب باس استاندارد و CPU مناسب، می‌بایست به‌طراحی مدول واحد مرکزی و سایر مدول‌های جانبی پرداخت. برای این‌کار لازم است ابتدا وظائف هر مدول به‌خوبی شناخته شوند تا طراحی براساس تامین نیازهای عملیاتی واحد صورت گیرد. در اینجا تنها به‌بررسی مدول‌های متعارف و متداول در RTU می‌پردازیم:

۳ـ۲ـ۳ـ۱ـ مدول واحد مرکزی

میکروپروسسور در واحد مرکزی قرار گرفته و براساس نرم‌افزاری که توسط حافظه ROM در اختیار آن قرار می‌گیرد به‌انجام وظایف گوناگونی می‌پردازد. اطلاعات پست را از مدول‌های جانبی جمع‌آوری نموده و تغییر وضعیت‌ها (درمورد اطلاعات دیجیتال) و عبور از حد نصاب (درمورد اطلاعات آنالوگ) را تشخیص داده و ثبت می‌نماید و ضمن انجام برخی پردازش‌های دیگر آنها را در محل مناسبی در حافظه RAM[21] ذخیره می‌نماید. این توالی معمولا" بطور متناوب و با فواصل زمانی معین صورت می‌گیرد. به‌این ترتیب هرگاه تمام یا بخشی از اطلاعات پست توسط ایستگاه مرکزی درخواست شود میکروپروسسور آخرین اطلاعات ذخیره شده را از حافظه به"مدم"[22] ارسال می‌دارد تا پس از مدولاسیون به‌ایستگاه مرکزی مخابره گردد. علاوه بر این در

صورت صدور فرمان قابل اجرا از جانب ایستگاه مرکزی، مدول واحد مرکزی در RTU وظیفه دارد که فرمان مزبور را به‌نحو مقتضی به‌مدول‌های خروجی ابلاغ کند. چون این امر از اهمیت خاصی برخوردار است معمولا "بهتر است که واحد مرکزی از طریق تماس مجدد با ایستگاه مرکزی پیش از اجرای فرامین از صحت آنها اطمینان حاصل کند. برای کسب اطمینان بیشتر لازم است تا واحد مرکزی پس‌از ابلاغ فرمان به‌مدول‌های‌خروجی با خواندن مجدد آن درستی دریافت فرمان را توسط مدول‌های جانبی امتحان کند آنگاه به‌آنها اجازه اجرای فرمان را بدهد. عملیات دیگری از جمله نظارت بر عملکرد صحیح بوردها و مصون نگه‌داشتن حافظه‌ها در مقابل قطع منبع تغذیه، پی‌گیری و محاسبه زمان حقیقی نیز بر عهده مدول واحد مرکزی است.

با این بیان مختصر بخش‌های اساسی واحد مرکزی مشخص می‌شوند. این بخشها عبارتند از CPU[23]، ROM[24]، RAM، قطعات تعیین‌کننده زمان، مدارهای واسطه باس جهت ارتباط با مدول‌ها، مدار حفاظت محتویات RAM به‌هنگام قطع تغذیه، مدارهای مخابره جهت مبادله پیام‌ها با ایستگاه مرکزی.

ـ حافظه‌ها:

انتخاب حافظه ROM با توجه به‌حجم نرم‌افزار سیستم صورت می‌گیرد و در شرائط معمولی ۴ الی ۶ کیلو بایت حافظه ROM برای تامین مقاصد طرح کافی است. حافظه RAM نیز براساس حجم اطلاعات مورد پردازش انتخاب می‌گردد. به‌عنوان مثال یک RTU که ۲۵۶ داده دیجیتال و ۱۶ داده آنالوگ را پردازش نموده و تا ۲۵۶ تغییر وضعیت را همراه با زمان وقوع آنها ثبت نموده و قادر است تا دو کیلو بایت اطلاعات را به‌طور یکجا ارسال یا دریافت نماید، به‌حافظه‌ای در حدود ۴ الی ۶ کیلو بایت RAM نیاز دارد.

ـ زمان‌سنج‌ها:

مدارهای تعیین‌کننده زمان واقعی نیز باید قادر باشند تا کسرهای صحیحی از زمان را توسط شمارنده‌های خود دنبال کرده (روش سخت‌افزاری) و یا با اعمال اینتراپت به‌میکروپروسسور، آن را وادار به‌تعقیب زمان نماید (روش نرم‌افزاری) [1]

ـ مدارهای مخابره:

برای اتخاذ تصمیم درمورد مدارهای مخابره جهت ارتباط با ایستگاه مرکزی باید چند نکته را مد نظر قرار داد:

ـ فاصله بین RTU و MS زیاد است. بنابراین لزوما "تبادل داده‌ها به‌صورت سریال و با استفاده از مدم صورت می‌گیرد. مدارهای مخابره در مدول واحد مرکزی باید اطلاعات را به‌طور سریال برای ارسال به‌مدم آماده نماید. علاوه بر این سیگنال‌هایی جهت هماهنگی با مدم می‌بایست ایجاد و آشکارسازی گردند. از آنجا که ارتباط با مدم به‌صورت سریال صورت می‌گیرد بنابراین باید باس سریال مناسب که مدم بتواند با آن کار کند انتخاب شود. سیگنال‌های این باس سریال باید به‌نحوی باشد که ارسال و دریافت داده‌ها بدون تزاحم و اشکال امکان‌پذیر گردد.

ـ علاوه بر مساله بعد مسافت باید در نظر داشت که حجم اطلاعات متبادله می‌تواند زیاد باشد. از این رو نحوه و روش تبادل داده‌ها باید طوری انتخاب شود که ضمن بالا بودن راندمان، نیاز اساسی سیستم یعنی قابلیت اطمینان زیاد برآورده گردد. در این زمینه دو نوع روش ارتباطی را می‌توان مطرح نمود. یکی روش ارتباطی آسنکرون است. در این روش هر بایت داده یک واحد انتقال را تشکیل می‌دهد و بنابراین در فرستنده برای اجتناب از خطا بر روی هر بایت کد تشخیص خطا اضافه می‌گردد. درصورت بالا بودن حجم داده‌های متبادله و در شرایط بروز خطا این نوع ارتباط عملکرد ضعیفی از خود نشان داده و راندمان ارتباط را تنزل می‌دهد. این مساله با در نظر گرفتن این که مدم برای تغییر جهت از حالت فرستنده به‌گیرنده و بالعکس احتیاج به‌زمانی در حدود ۱۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌ثانیه دارد بیشتر روشن می‌شود (درمورد مدم‌های HDX[25])زیرادرصورت بروز خطا، گیرنده باید به‌طریقی فرستنده را از این امر آگاه سازد تا بایت مزبور دوباره ارسال شود و برای این کار نیز به‌تغییر جهت مدم نیاز می‌باشد از سوی دیگر اصولا" برای فرستنده مشخص نیست که کدام بایت (یا بایت‌ها) دچار اختلال شده مگر آن که به‌تعداد کافی بایت‌های اضافی به‌داده‌های ارسالی به‌منظور ایجاد نوعی پروتکل (نظیر تعیین شماره توالی و غیره) اضافه شود که خود راندمان خط را پایین می‌آورد. با توجه به‌این مطالب استفاده از روش آسنکرون در تبادل داده‌ها بین RTU و MS مناسب نمی‌باشد. بنابراین ترجیح داده می‌شود تا از یک پروتکل سنکرون استاندارد نظیر X.25 (CCITT)یا HDLC[22] (ISO) استفاده شود. در پروتکل‌های سنکرون هر واحد مخابره یک "قاب"[27]نامیده می‌شود و می‌تواند مضرب صحیحی از بایت (مثلا" ۱۲۰ بایت) یا مضرب صحیحی از بیت (مثلا" ۱۰۰۰ بیت) باشد، که این امر در استاندارد مربوطه معین می‌گردد. تمام طول قاب ممکن است توسط کد تشخیص خطا (نظیر CRC)[28]محافظت شود. هر قاب می‌تواند دارای شماره معینی باشد به‌طوری که گیرنده بتواند توالی دریافت قاب‌ها را کنترل نموده و درصورت بروز خطا در محتویات یک قاب با استفاده از شماره آن قاب، فرستنده را آگاه و تقاضای ارسال مجدد آن را بکند.

با انتخاب پروتکل ارتباطی، لزوما" مدارهای مخابره باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند پروتکل منتخب را اجرا نمایند. قابل ذکر است که مدارهای مجتمعی وجود دارند که عمل هماهنگی با مدم و اجرای پروتکل‌های موردنظر را تسهیل می‌نمایند. به‌عنوان مثال می‌توان با استفاده از تراشه Z80 SIO و نرم‌افزار مناسب، پروتکل HDLC را پیاده نمود و از طریق پورت سریال RS 232 عمل هماهنگی با مدم را نیز به‌سادگی انجام داد.

۳ـ۲ـ۳ـ۲ مدول ورودی دیجیتال

ورودی‌های دیجیتال بیانگر حالت کلیدها هستند. مثلا" ممکن است بسته بودن یک کلید را با علامت ۱ و باز بودن آن را با ۰ نشان داد. مدول ورودی دیجیتالی برای انتقال این گونه اطلاعات به‌مدول واحد مرکزی در نظر گرفته می‌شود. برای انجام این کار راه‌های گوناگونی وجود دارد. مثلا" ممکن است که ورودی‌ها در گروه‌های هشت‌تایی به‌طور مداوم توسط مدول ورودی مرور شده و اطلاعات حاصله در رجیسترهایی ذخیره گردد (این رجیسترها می‌توانند LATCH یا RAM باشند). بدین ترتیب میکروپروسسور مربوط به‌واحد مرکزی در هر لحظه می‌تواند با آدرس نمودن رجیسترهای مربوطه اطلاعات مورد

نظر را دریافت نماید. روش دیگر این است که مدول ورودی از وظیفه مرور نمودن ورودیها معاف شود. بدین ترتیب که میکروپروسسور مربوط به‌مدول واحد مرکزی برای دریافت هر دسته ورودی دیجیتال، بافر مربوط به‌آن دسته را آدرس می‌نماید. نتیجه حاصل از دو روش تقریبا" یکی است اما بدیهی است که روش دوم به‌مدار کمتری نیاز داشته و مقرون به‌صرفه‌تر است.

نکته‌ای که درمورد این مدول باید در نظر داشت مساله ایزولاسیون است. لازم است که عناصر مدول از جهت گالوانیکی به‌خوبی نسبت به‌فرآیند عایق شوند تا بروز امواج گذرا و عوامل نامطلوب نتوانند سیستم را دچار آسیب جدی نمایند. ایزولاسیون می‌تواند از طریق رله یا بوسیله "تزویج‌کننده‌های نوری"[29] صورت گیرد. رله در مقابل امواج گذرا مقاومت بیشتری دارد اما پرحجم و کند است و به‌دلیل مکانیکی بودن کنتاکتهای آن با مسائلی چون BOUNCE و استهلاک مواجه می‌باشد. به‌همین جهت تزویج‌کننده‌های نوری معمولا" برای عایق کردن سیستم RTU از گزند امواج گذرا ترجیح داده می‌شود.

بنابراین هر مدول ورودی دیجیتال از اجزاء اصلی زیر تشکیل می‌شود: فیلتر حذف امواج فرکانس بالا، مدارهای ایزولاسیون گالوانیکی، بافر داده‌ها، مالتی پلکسر داده‌ها و مدار واسطه باس. تعداد ورودیهای دیجیتال برای هر مدول به‌طور متعارف ۸، ۱۶ و یا ۳۲ می‌باشد.

۳ـ۲ـ۳ـ۳ـ مدول ورودی آنالوگ

کمیت‌های آنالوگ مانند ولتاژ و جریان که توسط مبدل‌هایی قبلا" کاهش یافته‌اند باید از طریق این مدول به‌سیستم داده شوند. برای این کار لازم است که این کمیت‌ها ابتدا به‌شکل دیجیتال تبدیل گردند. هر کمیت آنالوگ را می‌توان بنا به‌مقتضیات طرح و شرائط موجود به ۸ یا ۱۲ بیت دیجیتال تبدیل نمود. نمونه‌برداری از کمیت‌های آنالوگ توجه به‌مسائل خاصی را لازم می‌دارد. از جمله در اینجا نیز به‌مساله ایزولاسیون سیستم از شبکه برق باید توجه نمود. برای این کار می‌توان از رله (با دو کنتاکت) استفاده نمود و در لحظاتی معین از سیگنال آنالوگ ورودی توسط یک خازن نمونه‌برداری کرد آنگاه با قطع رله از فرآیند، خازن را به‌ورودی مبدل آنالوگ به‌دیجیتال متصل نموده و عمل تبدیل را انجام داد (استفاده از "خازن شناور"[30]) اما رله مشکلاتی نظیر کند بودن، استهلاک و BOUNCE را دربر دارد. با این وجود به‌دلیل آنکه ارتباط کمیت‌های آنالوگ با فرآیند برق یک ارتباط مستقیم است (برعکس کمیت‌های دیجیتال که تنها از طریق القا ممکن است امواج گذرا را دریافت نمایند) بسیاری از سازندگان استفاده از رله را ترجیح می‌دهند. دراین‌صورت فضای اشغال شده توسط فیلترها و رله‌ها به‌حدی خواهد بود که اگر بیش از ۸ ورودی آنالوگ در یک بورد استاندارد بزرگ (مانند بورد باس‌های VME BUS[31] و MULTIBUS یا Double Eurocard) در نظر بگیریم دیگر جایی برای سایر مدارهای لازم در بورد باقی نمی‌ماند. دراین‌صورت بورد حاوی مدارهای ایزولاسیون و فیلترها باید از بورد اصلی جدا شده و از طریق کابل جداگانه به‌یکدیگر مربوط شوند. روش دیگر ایزولاسیون استفاده از تزویج‌کننده‌های نوری آنالوگ است. این قطعات جای کمتری اشغال نموده و امکان قرار دادن تا ۱۶ ورودی آنالوگ را در یک بورد به‌وجود می‌آورند. البته درصورت استفاده از چنین عناصری باید تدابیری نیز برای به‌حساب آوردن کمیت‌های منفی و از بین بردن اثر غیرخطی بودن تزویج‌های نوری اندیشید، این امر با بکارگیری چند "تقویت‌کننده عملیاتی"[32] صورت می‌گیرد که خود در اشغال فضای بورد نقش خواهد داشت.

به‌هر تقدیر کمیت‌های آنالوگ به‌کمک مالتی پلکسر آنالوگ به‌مبدل A/D داده شده و به‌دیجیتال تبدیل می‌شوند. چون سرعت تبدیل مبدل‌ها معمولا" بسیار کمتر از میکروپروسسور است لذا ترجیح داده می‌شود که مدول به‌طور متناوب ورودی‌های آنالوگ را به‌توالی توسط مالتی پلکسر به A/D داده آنگاه مقادیر دیجیتال ورودیها در رجیسترهایی ذخیره شوند. بنابراین در فواصل زمانی معینی مقادیر این رجیسترها Update شده، هر وقت که مدول واحد مرکزی، مدول ورودی آنالوگ را آدرس کرد بدون درنگ می‌تواند تازه‌ترین مقادیر دیجیتال هر ورودی را بخواند بدون آن‌که وقت میکروپروسسور به‌انتظار خاتمه عمل تبدیل A/D تلف شود.

برخی اوقات ترجیح داده می‌شود که از چند نمونه مختلف استخراج شده از یک ورودی آنالوگ متوسط‌گیری شده حاصل به‌مدول واحد مرکزی منتقل گردد. این امر برای برطرف نمودن اثر تغییرات لحظه‌ای و گذرای کمیت‌های آنالوگ صورت می‌گیرد و مستلزم نصب فیلتر دیجیتال وصرف هزینه نسبتا" زیادی است در اینجا استفاده از تراشه‌های DSP[33] مفید خواهند بود.

بدین‌ترتیب اجزای اصلی تشکیل‌دهنده مدول‌های ورودی آنالوگ عبارتند از:

مدارهای ایزولاسیون، فیلترهای پایین‌گذر، مالتی‌پلکسر آنالوگ، مبدل آنالوگ به‌دیجیتال، بافر خروجی که اطلاعات را در اختیار باس قرار می‌دهد، مدار واسطه باس، و مدارات دیجیتال کنترل مدول، انتخاب هریک از مدارات فوق نیاز به‌بررسی دقیق دارد. مبدل A/D برحسب دقت موردنیاز می‌بایست انتخاب گردد. مدار کنترل باید سیگنال‌های زمانبندی لازم را براساس مشخصات این مبدل برای شروع و خاتمه سیکلهای تبدیل فراهم آورد.

۳ـ۲ـ۳ـ۴ـ مدول خروجی دیجیتال

صدور فرمان‌های قطع و یا وصل به‌طور دائم یا پالسی از طریق مدول خروجی دیجیتال صورت می‌گیرد. عنصر رابط مدول با فرآیند برق باید قادر باشد که علاوه بر ایفای نقش ایزوله‌کننده، جریان لازم برای اعمال فرمان (مثلا" جریان یک کلید یا رله بزرگ) را نیز تامین نماید. درنتیجه عملی‌ترین راه استفاده از رله است. در انتخاب رله باید به‌حجم کم و قدرت جریان‌دهی کنتاکت‌ها تا حد امکان اهمیت داد. شایان ذکر است که اعمال فرمان از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا دخالت مستقیم در فرآیند برق دارد و بنابراین باید بدون اشتباه و با دقت صورت گیرد. به‌این دلیل با این‌که می‌توان تنها با صدور اطلاعات مورد نظر به‌مدول، این اطلاعات را مستقیما" به‌خروجی مدول منتقل نمود، اما بسیار عاقلانه است اگر این عمل در دو مرحله انجام شود. به‌این معنی که ابتدا فرمان به‌مدول ابلاغ گردد. سپس دوباره از مدول خوانده شود تا صحت دریافت آن به‌تائید برسد، و سرانجام دستور اجرای فرمان مزبور صادر شود. در زمینه چگونگی اجرای این مراحل می‌توان راه‌های گوناگونی را انتخاب نمود. به‌عنوان مثال برای آزمایش صحت دریافت فرمان می‌توان اطلاعات ابلاغ شده به‌رجیسترهای ورودی مدول را دوباره از آن خواند و درصورت

صحت فرمان اجرا را صادر نمود. این کار به‌سرعت قابل اجرا است اما عملکرد صحیح رله‌ها چک نمی‌شود. روش دیگر این است که نمونه ولتاژ تحریک رله‌ها به‌میکروپروسسور بازگشت داده شود و درصورت عدم صحت پیش از آن‌که کنتاکت رله‌ها وصل شود (حدود ۱۰ میلی ثانیه پس‌ازاعمال ولتاژ تحریک) دستور لغو گردد. این روش دقیق بوده و سرعت آن نیز زیاد است. اما مستلزم صرف عناصر بیشتر و مدار پیچیده‌تری است. در روش سوم صحت اجرای فرمان با نمونه‌گیری از کنتاکت اضافی رله‌ها آزمایش می‌شود. بکارگیری این روش مستلزم آن است که رله‌های دیگری نیز به‌عنوان رله "اجرا[۳۴]" درنظر گرفته شوند به‌طوری‌که بدون عمل نمودن رله‌های اخیر، عبور فرمان به‌سوی فرآیند برق امکان‌پذیر نباشد. به‌این ترتیب پس از عمل نمودن رله‌های "انتخاب[۳۵]" وضعیت آنها از طریق کنتاکت اضافی رله به‌میکروپروسسور باز می‌گردد و درصورت تصدیق صحت فرمان، پیام "اجرا" را جهت به‌کار انداختن رله‌های "اجرا" به مدول صادر می‌شود. این روش از روش‌های قبلی کندتر است زیرا از زمان صدور فرمان "انتخاب" تا لحظه‌ای که بتوان نمونه معتبری از کنتاکت رله‌های "انتخاب" را دریافت نمود چند میلی‌ثانیه طول می‌کشد. طبیعی است که در انتظار ماندن میکروپروسسور در این مدت صحیح نیست بنابراین در چنین روشی معمولا" بابسته شدن کنتاکت رله‌های "انتخاب" به‌میکروپروسسور اینتراپت داده می‌شود و آنگاه میکروپروسسور به‌خواندن اطلاعات سر رله‌ها و آزمایش آنها می‌پردازد. روش اخیر با این‌که کند است اما بسیار دقیق‌تر از روش‌های قبلی است زیرا مستقیما" اطلاعات کنتاکت‌های رله امتحان شده و صحت عملکرد کل مدول تائید می‌گردد. با توجه به‌مقتضیات طرح می‌توان هریک از روش‌های فوق را انتخاب نمود.

زمان وصل بودن کنتاکت رله‌ها را می‌توان توسط سخت افزار یا نرم‌افزار تعیین کرد و بدین‌ترتیب فقط به‌اندازه معینی رله‌ها را وصل نموده، خروجی فرمان پالسی تهیه کرد. طول پالس خروجی به‌شرائط پست موردنظر بستگی دارد و توسط نرم‌افزار و سخت‌افزار قابل تغییر است. معمولا" ۸ الی ۱۶ خروجی دیجیتال را می‌توان در یک بورد بزرگ جای داد.

۳-۲-۳-۵- مدول خروجی آنالوگ

وظیفه این مدول عبارت‌است از تبدیل اطلاعات دیجیتال دریافت شده از واحد مرکزی، به‌شکل آنالوگ و اعمال آن به‌خروجی‌های مدول. در اینجا عنصر مورد کنترل اغلب یک دستگاه اندازه‌گیری و یا یک‌دستگاه تنظیم‌کننده است. درهر صورت پس از آن‌که مدول واحد مرکزی اطلاعات موردنظر را در مدول نوشت، باید مادامی‌که اطلاعات مزبور تغییر ننموده است معادل آنالوگ آن در خروجی مربوطه ظاهر شود. برای این‌کار دو راه وجود دارد. یا باید میکروپروسسور به‌طور متناوب و به‌فواصل کوتاه اطلاعات مزبور را مجددا" به‌هر خروجی مدول Refresh نماید به‌طوری‌که خروجی مدول ثابت بماند. ویا این‌که اطلاعات دریافت شده از میکروپروسسور در داخل مدول ذخیره شده و به‌طور دائم توسط مدار کنترل مدول برای تبدیل در اختیار مبدل D/A[۳۶] قرار گیرد. این امر باید به‌ازای هریک از خروجیها تکرار شود. معمولا" ۴ الی ۸ خروجی در هر مدول قرار دارند. در روش اول وقت میکروپروسسور بی‌جهت تلف می‌گردد و در عوض ساختمان مدول خروجی آنالوگ ساده‌تر خواهد بود. درحالی‌که برعکس در روش دوم مدول پیچیده‌تر شده و وقت میکروپروسسور گرفته نمی‌شود.

انتخاب D/A مناسب با دقت کافی از جمله نکات مهم در طراحی این مدول است. استفاده از دمالتی‌پلکسر آنالوگ باعث می‌شود تا با استفاده از یک D/A چنین خروجی آنالوگ در مدول داشته باشیم. در عین‌حال باید توجه داشت که تا در فاصله‌زمانی Refresh شدن هر خروجی مقدار آنالوگ ثبت شده درخروجی افت نداشته باشد.

۳-۲-۳-۶- منبع تغذیه

منبع تغذیه معمولا" مطابق با استانداردهای باس‌ها به‌صورت یک واحد خاص در سیستم قرار می‌گیرد و به‌عنوان مدول درباس‌قرار نمی‌گیرد. منبع تغذیه باید قادر به‌تامین جریان مصرفی سیستم در بدترین‌حالت و با ضریب تنظیم خوب باشد. منبع مزبور ولتاژهای مختلف مورد نیاز بوردها را تامین می‌نماید. این ولتاژها معمولا" شامل ۵+ولت و ولتاژهای لازم برای باسهای سریال و مدارات آنالوگ می‌باشند. ولتاژهای مزبور باید در محدوده مجاز استاندارد باس سیستم قرار گیرند. همچنین استاندارد باس سیستم مقدار حداکثر جریان را محدود می‌نماید.

۳-۳- خطوط کلی نرم‌افزار در RTU

سیستم RTU باید دارای نرم‌افزار مناسبی باشدتا بتواند وظائف خود را بخوبی انجام دهد. با توجه دوباره به‌وظائف ذکر شده برای مدول واحد مرکزی، بخش‌های اساسی نرم‌افزار بدین‌ترتیب مشخص می‌شوند:

- نرم‌افزار مخابراتی- وظیفه این نرم‌افزار دریافت پیام‌ها از ایستگاه مرکزی MS و ثبت آنها در حافظه، همچنین برعکس ارسال پیام‌هایی به MS می‌باشد. چگونگی‌تبادل این پیام‌ها می‌بایست منطبق با پروتکل انتخاب شده انجام بگیرد. وظایف نرم‌افزار گیرنده را می‌توان چنین خلاصه نمود:

بررسی کدهای ایمنی که به‌هر قاب اطلاعاتی افزوده می‌شوند و کشف خطا، مقایسه شماره هر قاب دریافتی با شماره مورد انتظار، مقایسه طول قاب دریافت شده با حد نصاب تعیین شده توسط پروتکل، بی‌اعتبار نمودن قاب دریافتی درصورت بروز اختلال، شناسایی آخرین قاب دریافت شده و رجوع به‌نرم‌افزار ترجمه (برای تفسیر کردن پیام‌ها و تهیه پاسخ لازم). در برنامهٔ فرستنده نیز نکات زیر باید درنظر گرفته شوند:

قرار دادن شماره قاب‌ها در محل مخصوص در هر قاب، ارسال‌علامت مشخص‌کننده آخرین قاب، بی‌اعتبار نمودن قاب در حال ارسال درصورت کشف‌خطا (مانند از دست رفتن پاره‌ای از اطلاعات و...) واضافه نمودن کدهای کشف خطا به‌قاب (درصورتی‌که این‌کار توسط سخت‌افزار انجام نشود).

- نرم‌افزار جمع‌آوری‌داده- این‌نرم‌افزار به‌تناوب به‌مدول‌های‌ورودی رجوع نموده، اطلاعات آنها را در جدول مربوطه در حافظه ذخیره می‌نماید. همچنین وظیفه کشف تغییر وضعیت‌های ورودی دیجیتال و عبور از حد نصاب ورودی آنالوگ و ثبت آنها به‌عهده این نرم‌افزار است. هربار که میکروپروسسور اطلاعات یک مدول را می‌خواند درحقیقت وضعیت مدول ورودی مزبور نیز امتحان می‌شود و درصورت خرابی یا اختلال در مدول، اشکال مربوطه را در حافظه ثبت می‌نماید تا در موقع مقتضی برای MS مخابره کند.

ـ نرم‌افزار ترجمه و اجرای پیام‌های دریافتی ـ گذشته از پروتکل مخابراتی که کم و کیف آن توسط استاندارد تعیین گردیده و باید اجرا شود، مسئله دیگری نیز که باید درمورد آن تصمیمات لازم گرفته شود زبان محاوره است. بدین‌معنی که باید مفهوم پیام‌های متبادله مشخص گردد تا معلوم شود که چه نوع پاسخی مورد انتظار است. تصمیم‌گیری صحیح و انتخاب واژه‌های مناسب برای محاوره نقش مهمی در کیفیت عملکرد RTU بازی می‌کند. در این انتخاب باید تلاش بر این باشد که ضمن رعایت ایجاز و صرف حداقل طول قاب، حداکثر اطلاعات مورد نیاز منتقل گردد.

برای این منظور مطالعه طرح‌های پیاده شده و جمع‌آوری اطلاعات کافی درمورد RTU بسیار مفید خواهند بود. به‌عنوان مثال اگر طراح بداند که اطلاعات مربوط به تغییر وضعیت‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند، در طرح زبان محاوره جایگاه و اولویت ویژه‌ای برای این‌گونه اطلاعات درنظر خواهد گرفت.

وظیفه نرم‌افزار ترجمه در واقع دکود نمودن پیام و درک منظور آن و سپس پیگیری و اجرای آن است. مثلا" اگر منظور از پیامی درخواست اطلاعات باشد، این برنامه وظیفه دارد اطلاعات موردنظر را از محل از پیش‌تعیین شده آن به بافر مخصوص مخابره منتقل نماید و یا اگر منظور از پیام اجرای فرمان خاصی باشد، برنامه مزبور مراحل اجرای فرمان را به‌انجام می‌رساند.

ـ نرم‌افزار "برنامه‌ریزی اولیه[37]" ـ وظیفه این نرم‌افزار قراردادن RTU درحالت اولیه مناسب است. مثلا" صفر نمودن یا مقدار اولیه دادن به‌برخی رجیسترها، تست اولیه مدول‌ها، قرار دادن مدارهای گیرنده و فرستنده در حالت مناسب و ابلاغ شرائط اولیه از پیش تعیین شده به‌مدارهای زمانی (تا وقتی که زمان واقعی از سوی MS ابلاغ شود) را می‌توان در زمره وظائف این نرم‌افزار قرار داد.

ـ نرم‌افزار کنترل و ایمنی ـ این نرم‌افزار که به‌تناوب اجرا می‌شود، وضعیت حافظه‌ها، منبع تغذیه، و برخی عناصر حساس و مهم مانند مبدل‌های A/D و D/A را مورد بررسی و آزمایش قرار می‌دهد و درصورت مشاهده خطا، اطلاعات مربوطه را به MS ارسال می‌دارد.

ـ نرم‌افزار تعیین زمان ـ علاوه بر لزوم حفظ "زمان حقیقی" (RTC)[38]، موارد دیگری نیز در حین عمل RTU دارای محدودیت زمانی هستند و درصورت طولانی شدن ایجاد اشکال می‌نمایند. به عنوان مثال اگر فاصله زمانی دوبایت پشت سر هم که از MS دریافت می‌شوند از حد معینی تجاوز نماید، خطا رخ داده است. یا اگر زمان انتظار RTU برای دریافت پیام از MS بیش از حد مجاز طول بکشد، RTU باید تدابیر لازم از جمله به‌کار انداختن مدارهای مخابراتی ذخیره یا برقراری ارتباط با مدم ذخیره را اتخاذ نماید. وظیفه این نرم‌افزار انجام عملیاتی از این قبیل و حفظ زمان حقیقی است. به‌این معنی که اگر زمان واقعی کاملا" به‌صورت سخت‌افزاری دنبال نمی‌شود، بخشی از آن به‌عهده نرم‌افزار گذارده می‌گردد. به‌طور مثال تعیین کسرهای ثانیه و یا دقیقه توسط شمارنده‌های سخت‌افزاری و تعیین دقایق و ساعت و روز توسط شمارنده‌های نرم‌افزاری انجام گیرد. بدین‌ترتیب هم در وقت میکروپروسسور صرفه‌جویی می‌شود و هم از صرف سخت‌افزار اضافی که تنها مثلا" هر ۶۰ ثانیه یا هر ۶۰ دقیقه یک‌بار مورد استفاده قرار می‌گیرد اجتناب می‌گردد.

ـ نرم‌افزار زمینه ـ این نرم‌افزار حکم رابطه بین نرم‌افزارهای مختلف را دارد. به‌این معنی که بطور دائم از وضعیت نرم‌افزارها نمونه‌گیری نموده (با امتحان Flag های تعیین شده) و براساس این نمونه‌ها حکم به‌اجرای نرم‌افزار مناسب می‌دهد. بعنوان مثال اگر پیامی توسط "نرم‌افزار ترجمه و تهیه پاسخ"، برای ارسال آماده شده باشد، برنامه زمینه با آگاهی از این امر، نرم‌افزار مخابراتی را برای مخابره پیام فعال می‌نماید.

۳ـ۴ـ نتیجه‌گیری

طراحی و ساخت RTU به‌عنوان یک سیستم، مستلزم طراحی و کار در زمینه‌های متنوع و گوناگون و صرف‌وقت قابل توجهی است. اما با استفاده از تجاربی که در این زمینه بدست آمده‌است، با پیشروی قدم بقدم و دقت و تفکر در هر گام حصول نتیجهٔ مطلوب امکان‌پذیر گردیده است.

در طراحی سخت‌افزار و تهیه نرم‌افزار برای RTU نکات متعددی همواره باید مد نظر قرار گیرند. آشنایی با سیستم‌های موجود و چگونگی عملکرد آنها می‌تواند در تعیین این نکات یاری‌دهنده باشند. با در نظر گرفتن این معلومات و افزودن ایده‌های جدید در طراحی می‌توان به‌سیستم RTU مناسب برای کاربرد در شبکه برق ایران دست یافت، توجه به‌این نکته ضروری است که سیستم‌های ساخته شده در کشورهای دیگر یا به‌قدری پیچیده و گران قیمت هستند که استفاده از آنها از نظر اقتصادی و فنی مقرون به‌صرفه نیست و یا آنقدر ساده هستند که کارآیی لازم را ندارند. اهمیت طراحی یک سیستم RTU مناسب با نیازهای موجود و در ضمن درنظر گرفتن امکان گسترش بر هیچکس پوشیده نیست.

تعمیر و نگهداری یک چنین سیستم مورد طراحی، ساده، کم‌خرج و آسان است، علاوه بر این گام بزرگی در جهت قطع وابستگی‌های اقتصادی و فنی خواهد بود.

◆

پاورقی:

1. RTU: Remote Terminal Unit
2. MMI: Man - Machine Interface
3. FEP: Front End Processor
4. PC: Personal Computer
5. Load Flow
6. State Estimation
7. Redundant
8. ISO: International Standard Organization
9. CCITT: The International Telegraph and Telephone Consultative Committee
10. IEEE: Institue of Electrical and Electronics Engineers
11. IEC: International Electrical Code
12. Cross Talk
13. CU: Central Unit
14. SBC: Single Board Computer

15. Digital Input
16. Analog Input
17. Digital Output
18. Analog Output
19. MS: Master Station
20. Pulse Count Input
21. RAM: Random Access Memory
22. MODEM: Modulator - Demodulator
23. CPU: Central Processing Unit
24. ROM: Read Only Memory
25. HDX: Half Duplex
26. HDLC: High Level Data Link Control
27. Frame
28. CRC: Cyclic Redundancy Code
29. Opto - Coupler
30. Flying Capcitor
31. VME Bus: Versa Motorola Europe
32. OP - AMP: Operational Amplifier
33. DSP: Digital Signal Processing
34. Execution
35. Selection
36. D/A: Digital to Analog Converter
37. Initialization
38. RTC: Real Time Clock

منابع :

۱ــ خورسند ، میرهوشنگ (و) قزل‌ایاغ ، حمید ، **طراحی و ساخت** RTU پایان‌نامه کارشناسی ارشد . تهران . دانشگاه صنعتی امیرکبیر . دانشکده مهندسی برق . ۱۳۶۸ .

۲ــ خورسند ، میرهوشنگ (و) فائز ، کریم ، کاربرد سیستم کنترل گسترده دیجیتال در پست‌های فوق فشار قوی . تهران . مجله علمی و فنی امیرکبیر . سال سوم . شماره ۱۲ . تابستان ۱۳۶۸ . ص: ۲۱۷ــ ۲۲۳ .

3. Morris, David, J. Communication Command and Control.