

## طراحی و پیاده‌سازی یک سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی

محسن قربانعلی افجه<sup>۱</sup>، مهدی افغانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> جهاد دانشگاهی علم و صنعت، تهران، ایران

---

### چکیده

در این مقاله پیاده‌سازی یک سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی مطرح شده است. این سامانه شامل سه نوع گره است. گره‌ها شامل گره اندازه‌گیری، گره جمع‌آوری داده محلی و گره اصلی است. گره اصلی، برای کنترل، نمایش، ثبت و تجزیه و تحلیل داده‌های سامانه به کار می‌رود. سامانه طراحی شده، قابلیت نصب در نواگان ریلی و پست‌های فشارقوی و ضعیف، صنایع نفت و گاز و... را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه مدیریت، کنترل و مانیتورینگ، گره اندازه‌گیری.

---

## ۱- مقدمه

سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی، یک سامانه یکپارچه برای کنترل، نمایش، ثبت و تجزیه و تحلیل کمیت‌های الکتریکی شبکه-های برق صنایع و حس‌گرهای مورد استفاده در صنایع است. کاربرد مشابه و دیگر این سیستم در سامانه کنترل و مانیتورینگ ناوگان ریلی است. از آنجاکه سامانه‌های مختلفی همانند سامانه کنترل تراکشن موتور (MCM)، سامانه مبدل برق و باتری شارژر قطار (ACM)، سامانه کنترل ترمز، سامانه سیگنالینگ، سامانه تهویه هوا، سامانه کنترل درب قطار، سامانه اطلاع‌رسانی صوتی و تصویری در ناوگان ریلی وجود دارد. همان‌طور که از نام‌گذاری سامانه کنترل و مانیتورینگ مشخص است در یک ناوگان ریلی این سامانه باید با یکایک سامانه‌های یادشده در ارتباط بوده و بر کار آن‌ها نظارت داشته باشد.

سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی در شبکه قدرت، از ۵ بخش اصلی شامل گره اصلی، گره جمع‌آوری داده محلی، گره اندازه‌گیری، گذرگاه اولیه و گذرگاه ثانویه تشکیل شده است. این تجهیزات قابلیت نصب در پست‌های فشارقوی و ضعیف، صنایع نفت و گاز و سایر صنایع و کارخانه‌ها را دارند. قابلیت اتصال سایر تجهیزات مورد استفاده در صنایع، به این سامانه وجود دارد. سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی، به‌طور کامل پیاده‌سازی شده است. نتایج آزمایش‌های اولیه موفقیت‌آمیز بوده است.

برخی از مزایای به‌کارگیری سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی به شرح زیر است.

- امکان اتصال تجهیزات خاص با فراهم کردن واسط MODBUS برای آن‌ها
- نمایش کمیت‌های الکتریکی نیروگاه‌ها و صنایع
- اعلام وضعیت غیرعادی در نیروگاه‌ها و صنایع
- سامانه مدیریت مصرف انرژی
- تفکیک مصرف‌کننده‌های الکتریکی داخلی در صنایع
- نظارت بر تولید و مصرف انرژی
- حفاظت از سوختن الکتروموتورها و کاهش هزینه‌های تعویض و تعمیر الکتروموتورها

## ۱-۱- ضرورت پیاده‌سازی سامانه

موارد ذکرشده در زیر، ضرورت ساخت و پیاده‌سازی سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی را در کشور بیان می‌کند.

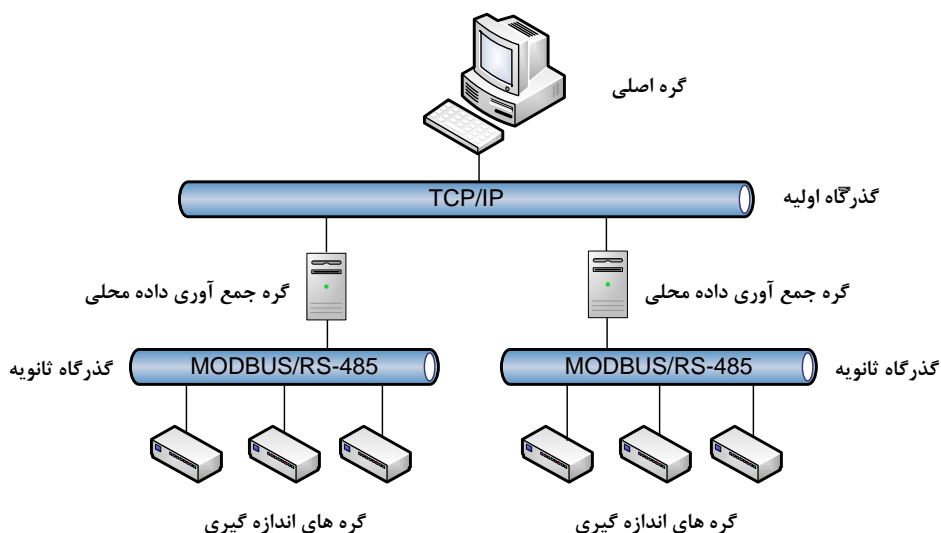
۱. نیاز صنایع به این سامانه
۲. بومی‌سازی سامانه و رفع وابستگی به شرکت‌های خارجی
۳. تسهیل در پیاده‌سازی
۴. تسهیل در پشتیبانی
۵. استفاده از دانش فنی بومی و کاهش خطر سرقت اطلاعات

## ۲- ادبیات تحقیق

سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی، مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته است و شامل اجزای به شرح زیر است

- گره‌های اندازه‌گیری
- گره‌های جمع‌آوری داده محلی
- گره اصلی
- گذرگاه اولیه
- گذرگاه ثانویه

شکل ۱، سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱: سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی.

## ۲-۱- گره‌های اندازه‌گیری

گره‌های اندازه‌گیری، در ارتباط مستقیم با ادوات آنالوگ و دیجیتال شبکه الکتریکی هستند. این گره‌ها کمیت‌های الکتریکی و محیطی را اندازه‌گیری می‌کنند. گره‌های اندازه‌گیری توسط گذرگاه ثانویه، به گره‌های جمع‌آوری داده محلی متصل می‌شوند. پروتکل ارتباطی بین گره‌های اندازه‌گیری و گره جمع‌آوری داده محلی، MODBUS، بر روی بستر سریال RS485 است.

### ۲-۱-۱- داده‌های گره اندازه‌گیری

هر گره اندازه‌گیری باید دارای یک آدرس منحصر به فرد در محدوده ۱ الی ۱۶ باشد. هر گره اندازه‌گیری، دارای نقشه حافظه مطابق با جدول ۱ است و با توجه به نوع کمیتی که اندازه‌گیری می‌کند، آدرس‌های نقشه حافظه شکل ۱ را مقداردهی می‌کند. هر گره اندازه‌گیری می‌تواند یک یا چند کمیت را اندازه‌گیری کند. آدرس 0x01 و 0x02 جدول ۱، در همه گره‌های اندازه‌گیری وجود دارد. هر گره اندازه‌گیری، مشخصات خود را در آدرس 0x01 قرار می‌دهد. جدول ۲، ثابت آدرس 0x01 را توصیف می‌کند. هر گره اندازه‌گیری، وضعیت لحظه‌ای خود را در آدرس 0x01 قرار می‌دهد. جدول ۳، ثابت آدرس 0x02 را توصیف می‌کند.

## جدول شماره ۱: نقشه حافظه گره‌های اندازه‌گیری.

نام ثبات	آدرس	نام ثبات	آدرس
مشخصات تجهیز اندازه‌گیری	0x01	داده ۷	0x09
وضعیت تجهیز اندازه‌گیری	0x02	داده ۸	0x0A
داده ۱	0x03	داده ۹	0x0B
داده ۲	0x04	داده ۱۰	0x0C
داده ۳	0x05	داده ۱۱	0x0D
داده ۴	0x06	داده ۱۲	0x0E
داده ۵	0x07	داده ۱۳	0x0F
داده ۶	0x08	داده ۱۴	0x10

## جدول شماره ۲: بیت‌های ثبات مشخصات تجهیز اندازه‌گیری.

عملکرد	شماره بیت	عملکرد	شماره بیت
اندازه‌گیری دما	8	اندازه‌گیری خط ۱	0
اندازه‌گیری رطوبت	9	اندازه‌گیری خط ۲	1
مدار خروجی دیجیتال (رله)	10	اندازه‌گیری خط ۳	2
مدار ورودی دیجیتال	11	اندازه‌گیری ولتاژ	3
سایر تجهیزات	12	اندازه‌گیری جریان	4
	13	اندازه‌گیری ضریب توان	5
	14	اندازه‌گیری فرکانس	6
	15	اندازه‌گیری امپدانس	7

## جدول شماره ۳: بیت‌های ثبات وضعیت تجهیز اندازه‌گیری.

عملکرد	شماره بیت	عملکرد	شماره بیت
نوع خطا	8	فعال / غیرفعال	0

1	روشن / خاموش	9
2	وضعیت عادی	10
3	وضعیت خطا	11
4		12
5		13
6		14
7		15

فعال بودن هر یک از بیت‌های آدرس 0x01 و 0x02 در جدول ۱، با مقدار ۱ مشخص می‌شود. بیت‌های شماره ۸ الی ۱۵ در جدول ۳، مشخص‌کننده نوع خطا هستند و مقدار آن در صورتی دارای ارزش است که بیت شماره ۳ برابر با ۱ باشد. تمامی شماره‌های مربوط به خطا، در گره اصلی سامانه تعریف شده‌اند. داده‌های قرار گرفته در آدرس 0x03 الی 0x10 جدول ۱، با توجه به بیت‌های آدرس 0x01 مشخص می‌شوند. گره‌های جمع‌آوری داده محلی، از روی داده موجود در آدرس 0x01، از نوع داده‌های گره اندازه‌گیری مطلع می‌شوند. کمیت‌های ولتاژ، جریان و ضریب توان، توسط گره‌های اندازه‌گیری، محاسبه و ارسال می‌شوند. در گره اصلی، از روی این کمیت‌های دریافت شده، کمیت توان، محاسبه می‌گردد.

#### ۲-۱-۲- انواع گره‌های اندازه‌گیری

گره‌های اندازه‌گیری تجهیزاتی هستند که کمیت‌های الکتریکی و حس‌گرها را اندازه‌گیری می‌کنند و آن داده‌ها را به گره جمع-آوری داده محلی ارسال می‌کنند. برخی از تجهیزات ساخته شده برای این منظور، مدار اندازه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز، مدار اندازه‌گیری دما و رطوبت محیط، مدار خروجی دیجیتال (رله) و مدار ورودی دیجیتال هستند. مدارهای خروجی دیجیتال، برای ارسال فرمان‌هایی از قبیل فرمان قطع-وصل یا فرمان روشن-خاموش، به تجهیزات مورد استفاده در صنایع به کار می‌روند. مدارهای ورودی دیجیتال، برای انتقال وضعیت‌های مانند قطع-وصل یا روشن-خاموش تجهیزات به کار می‌روند. تجهیزات مورد استفاده به‌عنوان گره اندازه‌گیری، قابل توسعه هستند. در واقع هر تجهیزیتی که قابلیت اندازه‌گیری یک کمیت را داشته باشد، در صورتی که نقشه حافظه جدول ۱ را پیاده‌سازی کند و بتواند با گره‌های جمع‌آوری داده محلی ارتباط برقرار نماید، می‌تواند به‌عنوان گره اندازه‌گیری به کار رود؛ بنابراین اتصال تجهیزات خاص موجود در صنایع، با فراهم کردن واسطه MODBUS برای آن‌ها با استفاده از تجهیزاتی مانند PLC، ممکن می‌شود.

#### ۲-۱-۳- نمونه‌گیری کمیت‌های قیاسی

برای پیاده‌سازی زمان گسسته حلقه‌های کنترل، نمونه‌های آنالوگ ولتاژ و جریان باید توسط مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال، به نمونه‌های دیجیتال تبدیل شوند. چون مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال در میکروکنترلرها، فقط می‌توانند مقادیر مثبت ولتاژ را بپذیرند، بنابراین باید به هر نمونه آنالوگ AC، آفست DC اضافه شود و بعد از تبدیل در میکروکنترلرها، آفست اضافه شده حذف شود. برای حذف سیگنال‌های ناخواسته فرکانس بالا در خروجی نمونه‌های آنالوگ، یک فیلتر پایین‌گذر در خروجی نمونه‌های آنالوگ با فرکانس قطع ۲۰ KHz قرار دارد. ممکن است دامنه نمونه ورودی جریان بزرگ‌تر از گستره قابل‌پذیرش در

ورودی مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال باشد. برای جلوگیری از اشباع این مبدل‌ها، نمونه جریان به میزان مناسب کوچک می‌شود، سپس تولید نمونه گسسته جریان، با اعمال ضریب اصلاحی به دست می‌آید.

## ۲-۱-۴- اندازه‌گیری و محاسبه RMS

RMS سیگنال متناوب  $y(t)$  از دوره تناوب  $T$ ، طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$y_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \quad (1)$$

اگر سیگنال  $y(t)$  با دوره تناوب  $T_m$  نمونه‌برداری شود، آنگاه رابطه (۲) و رابطه (۳) صدق می‌کند.

$$NT_m = T \quad (2)$$

$$y_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=0}^N y^2(nT_m) T_m} = \sqrt{\frac{T_m}{T} \sum_{n=0}^N y^2(n)} = \sqrt{N \sum_{n=0}^N y^2(n)} \quad (3)$$

برای محاسبه میزان RMS یک سیگنال با یکی از رابطه‌های (۱) و (۳)، دوره تناوب سیگنال باید معین باشد. شبیه‌سازی نشان می‌دهد که اگر رابطه (۳) برای تعداد نمونه‌های بزرگتر از  $2N$  محاسبه شود، تعداد نمونه‌ها و یا دوره تناوب سیگنال در محاسبه چندان اهمیت ندارد.

برای محاسبه RMS یک سیگنال برحسب رابطه (۳)، ابتدا تمام نمونه‌ها باید در یک حافظه ذخیره شوند. با آماده شدن آخرین نمونه، محاسبه انجام می‌شود. این روش وقت‌گیر است.

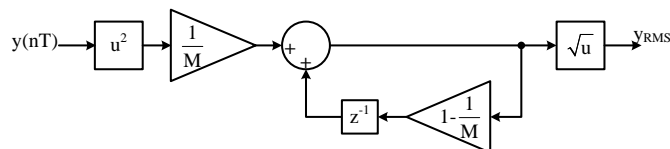
برای جلوگیری از این نوع محاسبه، روش پنجره متحرک قابل اجرا است. در روش پنجره متحرک با تعداد نمونه‌های  $M$ ، با ورود هر داده جدید  $i$ ، داده  $(M-i)$  خارج می‌شود و RMS سیگنال، طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. برای خروج نمونه‌ها، باید به تعداد نمونه‌های مورد نیاز، یک پنجره نمونه در حافظه ذخیره نمود.

$$y_{RMS}(i+1) = \sqrt{y_{RMS}^2(i) - \frac{1}{M} y^2(i-M) + \frac{1}{M} y^2(i+1)} \quad (4)$$

به جای جمله  $y(i-m)$  در رابطه (۴)، با تخمین خوب می‌توان از  $y_{RMS}(i)$  استفاده کرد. در این صورت به حافظه برای ذخیره‌سازی نمونه‌ها نیاز نیست و معادل (۴) به صورت رابطه (۵) ساده می‌شود.

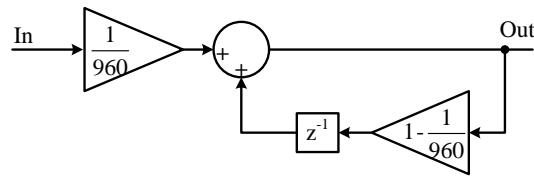
$$y_{RMS}(i+1) = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{M}\right) y_{RMS}^2(i) + \frac{1}{M} y^2(i+1)} \quad (5)$$

شبیه‌سازی نشان داده است که اگر فرکانس مرکزی سیگنال ورودی  $50\text{ Hz}$  باشد و از این سیگنال با فرکانس  $12\text{ KHz}$  نمونه‌برداری شود و همچنین تعداد نمونه‌های استفاده‌شده در پنجره متحرک  $2000$  ( $M=2000$ ) باشد، مقدار مؤثر محاسبه‌شده برای  $y(t)$  دارای ضریب بیشینه  $0/91$  درصد است و با تغییر ورودی بعد از تأخیر حدود  $0/5$  ثانیه، اندازه RMS صحیح محاسبه می‌شود. در شکل ۲ پیاده‌سازی رابطه (۵) نشان داده شده است.



شکل شماره ۲: پیاده‌سازی معادله ۵.

برای کاهش ضریب محاسبه کافی است تعداد نمونه‌ها افزایش داده شود. با افزایش تعداد نمونه‌های پنجره متحرک، تأخیر همگرا شدن افزایش می‌یابد. تأخیر در محاسبه، چندان مطلوب نیست. به همین دلیل بهتر است تعداد نمونه‌ها افزایش داده نشود. فقط برای نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده، باید این مقادیر از یک فیلتر ساده به صورت شکل ۳ عبور داده شوند.



شکل شماره ۳: فیلتر متوسط‌گیری.

## ۲-۲- گره‌های جمع‌آوری داده محلی

گره‌های جمع‌آوری داده محلی، در میان گره‌های اندازه‌گیری و گره اصلی قرار دارند. ارتباط گره جمع‌آوری داده محلی با گره-های اندازه‌گیری، از طریق گذرگاه ثانویه و پروتکل MODBUS بر روی بستر سریال RS485 است. هر گره جمع‌آوری داده محلی بر روی گذرگاه ثانویه، یک تجهیز فرمانده است و می‌تواند با حداکثر ۱۶ تجهیز فرمان‌بر (گره اندازه‌گیری)، ارتباط برقرار نماید. گره جمع‌آوری داده محلی، دارای حافظه به مقدار لازم، برای ذخیره داده‌های ۱۶ عدد گره اندازه‌گیری است. از سوی دیگر، هر گره جمع‌آوری داده محلی، قابلیت اتصال به گذرگاه اولیه، جهت ارتباط با گره اصلی را دارد. داده‌های گره جمع‌آوری داده محلی، به صورت جدول ۴، در اختیار گره اصلی قرار می‌گیرد. ۳۲ بایت اول در جدول ۴ شامل داده‌های مشخصات گره جمع‌آوری داده محلی است. این داده‌ها در جدول ۵ مشخص شده است. ردیف تجهیزات متصل به گذرگاه ثانویه، در جدول ۵، وضعیت متصل بودن هر گره اندازه‌گیری به گذرگاه ثانویه را، با یک بیت نشان می‌دهد. ردیف مربوط به وضعیت گره جمع‌آوری داده محلی در جدول ۵، در جدول ۶ مشخص شده است.

جدول شماره ۴: نقشه حافظه گره جمع‌آوری داده محلی.

تعداد بایت	توضیح	تعداد بایت	توضیح
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۹	۳۲	مشخصات گره جمع‌آوری داده محلی
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۰	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۱	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۲
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۲	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۳
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۳	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۴
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۴	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۵
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۵	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۶
۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۱۶	۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۷
		۱۶	داده‌های گره اندازه‌گیری آدرس ۸

## جدول شماره ۵: داده‌های ردیف مشخصات گره جمع‌آوری داده محلی در

تعداد بایت	توضیح
۴	گره IP آدرس
۶	MAC
۱	تعداد تجهیز روی گذرگاه ثانویه
۲	تجهیزات متصل به گذرگاه ثانویه
۲	وضعیت گره جمع‌آوری داده محلی
۴	تعداد خطاهای گذرگاه ثانویه
۱۳	

## جدول شماره ۶: بیت‌های ردیف وضعیت گره جمع‌آوری داده محلی در جدول

شماره بیت	عملکرد	شماره بیت	عملکرد
0	فعال / غیرفعال	8	نوع خطا
1	وضعیت عادی	9	
2	خطای گره محلی	10	
3	خطای گره‌های اندازه‌گیری	11	
4		12	
5		13	
6		14	
7		15	

داده‌های مشخص شده در جدول ۴، به ترتیب، در قاب داده TCP/IP قرار می‌گیرند و به گره اصلی ارسال می‌شوند. طول تمام این داده‌ها برابر با ۲۸۸ بایت است. هر بسته که توسط پروتکل TCP/IP انتقال می‌یابد، می‌تواند حداکثر ۱۴۶۰ بایت داده را انتقال دهد (RFC0894، ۱۹۸۴)؛ بنابراین، داده‌های هر گره اندازه‌گیری جمع‌آوری داده، توسط یک بسته انتقال می‌یابد.

ارتباط گره جمع‌آوری داده محلی به گذرگاه اولیه، از طریق پروتکل TCP/IP بر روی بستر Ethernet است. گره‌های جمع‌آوری داده محلی، گره سرویس‌دهنده هستند. برای امنیت داده‌ها، از پروتکل SSH در لایه کاربرد استفاده شده است (RFC4253، ۲۰۰۶) بنابراین، گره‌های جمع‌آوری داده محلی، دارای رمز عبور هستند. گره جمع‌آوری داده محلی، یک رایانه از نوع سامانه جاسازی شده است و قابلیت اجرای نرم‌افزار ارتباطی سامانه را بر روی یک سیستم‌عامل فراهم می‌کند. امروزه



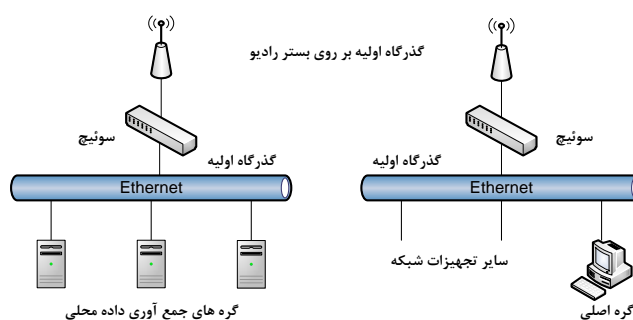
سامانه‌های جاسازی شده با سرعت و قدرت پردازش بسیار بالا نسبت به میکروکنترلرها و با قیمت و اندازه فیزیکی بسیار کمتر نسبت به رایانه‌های PC، جایگزین مناسبی برای رایانه‌های PC در بسیاری از کاربردها هستند. این رایانه از طریق یک مدار واسط مبتنی بر میکروکنترلر، به گذرگاه ثانویه متصل است و از طریق درگاه شبکه Ethernet، به گذرگاه اولیه متصل است. مدار واسط بین گذرگاه ثانویه و گره جمع‌آوری داده محلی، به منظور پیاده‌سازی پروتکل MODBUS RTU مورد استفاده قرار گرفته است. این پروتکل نیاز به یک زمان‌بندی دقیق در محدوده چندصد میکروثانیه دارد و ایجاد این زمان‌بندی در رایانه‌های مبتنی بر سیستم‌عامل، امکان‌پذیر نیست. مدار واسط توسط درگاه پرسرعت SPI به رایانه جاسازی شده متصل شده است.

## ۲-۳- گره اصلی

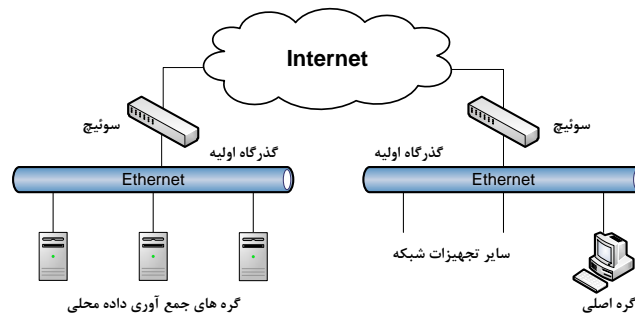
گره اصلی در سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی، داده‌های گره‌های جمع‌آوری داده محلی را دریافت می‌کند. این داده‌ها، پس از پردازش، بر روی صفحه نمایش قابل نمایش است. گره اصلی یک نرم‌افزار است که بر روی یک رایانه از نوع PC اجرا می‌گردد. این رایانه از طریق درگاه شبکه، به گذرگاه اولیه متصل است و با گره‌های جمع‌آوری داده محلی ارتباط دارد. گره اصلی به‌عنوان یک گره سرویس‌گیرنده بر روی گذرگاه اصلی قرار می‌گیرد. گره اصلی توسط پروتکل SSH در لایه کاربرد، با گره‌های جمع‌آوری داده محلی ارتباط برقرار می‌کند؛ بنابراین باید از رمز عبور گره‌های جمع‌آوری داده محلی، مطلع باشد. گره اصلی می‌تواند با حداکثر ۱۶ گره جمع‌آوری داده محلی، ارتباط برقرار کند. هر گره جمع‌آوری داده محلی، با یک شماره سوکت (آدرس IP و شماره درگاه)، در نرم‌افزار گره اصلی مشخص می‌شود. تعداد تجهیزاتی که توسط گره اصلی قابل نمایش و کنترل است، برابر ۲۵۶ است. نام‌گذاری گره‌های اندازه‌گیری و گره‌های جمع‌آوری داده محلی، در نرم‌افزار گره اصلی انجام می‌شود.

## ۲-۴- گذرگاه اولیه

گذرگاه اولیه، شبکه مورد استفاده برای رایانه‌ها است و می‌تواند شامل هر بستری که برای شبکه رایانه‌ها استفاده می‌شود، باشد. در پیکربندی این شبکه می‌توان از تمامی تجهیزات مورد استفاده در شبکه استفاده کرد. نقطه اتصال این گذرگاه به گره‌های جمع‌آوری داده محلی، بستر Ethernet است. این گذرگاه می‌تواند به‌صورت شبکه LAN و WAN، توسط هر نوع بستر مورد استفاده در شبکه رایانه‌ای، گسترش یابد. همه تجهیزات شبکه مانند سوئیچ‌ها، مسیریاب‌ها و رادیوها، می‌توانند برای گسترش بستر این شبکه استفاده شود. شکل ۴ و شکل ۵، دو نمونه از پیاده‌سازی گذرگاه اصلی، با تجهیزات شبکه را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۴: گذرگاه اولیه با ارتباط رادیو.



شکل شماره ۵: گذرگاه اولیه بر روی اینترنت.

## ۲-۵- شبکه تشکیل شونده بر روی گذرگاه اصلی، یک شبکه

سرویس گیرنده- سرویس دهنده است. گره اصلی، گره سرویس گیرنده است. گره های جمع آوری داده محلی، گره های سرویس دهنده هستند. پروتکل ارتباطی این شبکه در لایه کاربرد، پروتکل امن SSH است. گره های سرویس دهنده، مجهز به رمز عبور هستند. گره اصلی برای ارتباط با گره های جمع آوری داده محلی، باید از رمز عبور هر یک مطلع باشد. در پروتکل SSH، رمز عبور از طریق گذرگاه مخابره نمی شود.

سرعت انتقال اطلاعات بر روی گذرگاه اصلی، به نوع و توپولوژی گذرگاه بستگی دارد. در اتصال مستقیم گره اصلی و گره های اندازه گیری به یک سوئیچ با ۱۶ درگاه، تأخیر انتقال قاب درخواست Ping بین گره اصلی و هر یک از گره های جمع آوری داده محلی، کمتر از ۱ میلی ثانیه است.

## ۲-۶- گذرگاه ثانویه

گذرگاه ثانویه، گذرگاه ارتباطی بین گره های اندازه گیری و گره جمع آوری داده است که یک گذرگاه سریال سه سیمه منطبق با استاندارد (RS485) EIA/TIA-485 است (RFC 4253، ۱۹۹۸). پروتکل مورد استفاده در این گذرگاه، MODBUS RTU روی خط سریال است. پروتکل MODBUS یک پروتکل فرمانده/فرمان بر است. گره جمع آوری داده محلی، گره فرمانده است. گره های اندازه گیری، گره های فرمان بر هستند. تعداد گره های فرمان بر بر روی گذرگاه ثانویه، حداکثر ۱۶ عدد است. هر گره، یک آدرس منحصر به فرد بین ۱ الی ۱۶ دارد.

سرعت ارتباط سریال بر روی این گذرگاه برابر ۱۹۲۰۰ بیت بر ثانیه است. پیکربندی درگاه سریال هر گره بر روی گذرگاه ثانویه 19200,E,8,1 است. با توجه به فعال بودن بیت توازن، مدت زمان مورد نیاز برای ارسال هر بایت داده، از رابطه (۶) به دست می آید.

$$t = \frac{11}{19200} \approx 0.00057 \text{ Sec} \quad (۶)$$

هر تراکنش داده در گذرگاه ثانویه با پروتکل MODBUS، شامل یک پیام درخواست از سمت گره فرمانده و یک پیام پاسخ از سمت گره فرمان بر است. طول پیام درخواست همیشه ثابت و برابر با ۸ بایت است. زمان مورد نیاز برای انتقال پیام درخواست از رابطه (۷) به دست می آید.

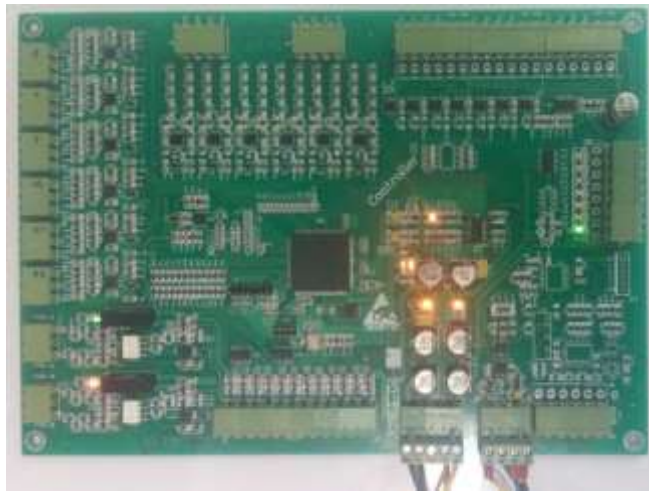
$$t = \frac{8 \times 11}{19200} \approx 0.00458 \text{ Sec} \quad (۷)$$

طول پیام پاسخ با توجه به نقشه حافظه گره‌های اندازه‌گیری در جدول ۱، حداکثر برابر با ۳۷ بایت است. زمان موردنیاز برای انتقال پیام پاسخ از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$t = \frac{37 \times 11}{19200} \approx 0.02118 \text{ Sec} \quad (8)$$

### ۳- نتایج تحقیق در بخش سخت‌افزار

سخت‌افزار اولیه طراحی شده برای سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی، شامل مدارهای اندازه‌گیری و مدار واسط گره جمع‌آوری داده محلی است. هم‌چنین برای گره جمع‌آوری داده محلی، از یک مدار سامانه جاسازی شده مبتنی بر سیستم‌عامل لینوکس که به سهولت از بازار داخل قابل تهیه است، استفاده شده است. مدارهای گره اندازه‌گیری داده، شامل مدار اندازه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز، مدار ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال و مدار خروجی دیجیتال با ۸ رله و ۳۲ رله است. شکل ۶، مدار اندازه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز را نشان می‌دهد.

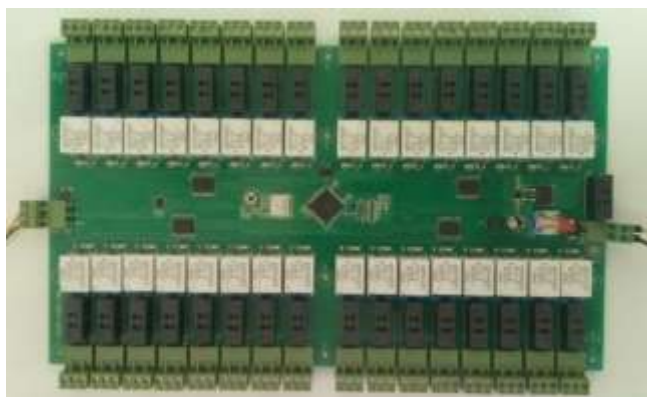


شکل شماره ۶: مدار اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و ضریب توان سه‌فاز.

مدارهای طراحی شده برای خروجی دیجیتال، در شکل ۷ و شکل ۸ مشخص شده است.



شکل شماره ۷: مدار خروجی دیجیتال با ۸ رله.



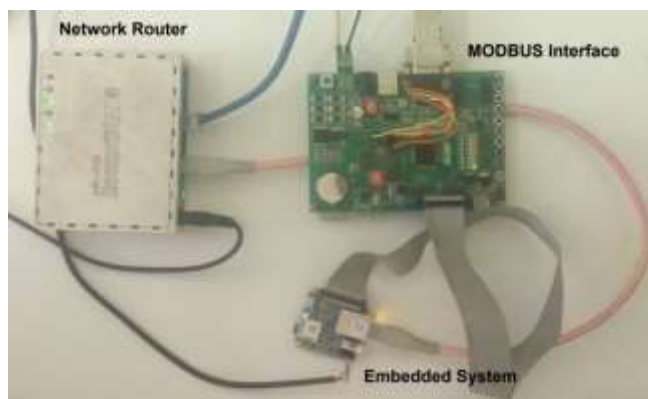
شکل شماره ۸: مدار خروجی دیجیتال با ۳۲ رله.

شکل ۹، مدار ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۹: مدار ورودی و خروجی دیجیتال و آنالوگ.

مدار واسط MODBUS برای اتصال به گره جمع‌آوری داده محلی، در شکل ۱۰ مشخص شده است.

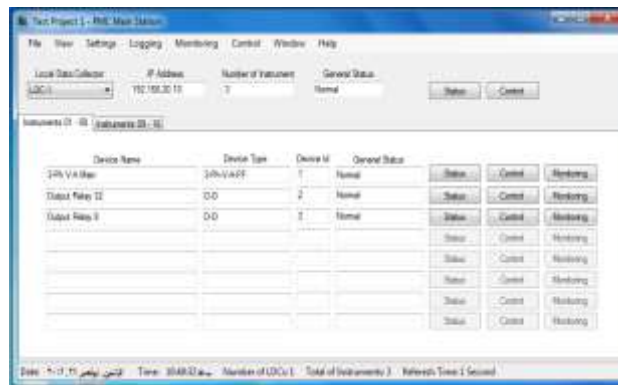


شکل شماره ۱۰: مدار واسط MODBUS و مدار گره جمع‌آوری داده محلی.

در شکل ۱۰، گره جمع‌آوری داده محلی توسط مدار واسط MODBUS، به گذرگاه ثانویه متصل شده است. همچنین این گره توسط درگاه Ethernet، به گذرگاه اصلی متصل شده است.

#### ۴- نتایج تحقیق در بخش نرم افزار

نرم افزار طراحی شده برای سامانه، نرم افزار گره اصلی است. این نرم افزار قابلیت ارتباط به گره های جمع آوری داده محلی که یک نوع رایانه هستند را از طریق شبکه دارد و با استفاده از برنامه نویسی سوکت، این ارتباط فراهم شده است. این نرم افزار با استفاده از ابزار et Framework 2.0, VS2010 و زبان برنامه نویسی C# نوشته شده است و توسط سیستم عامل Windows در نسخه های XP و بالاتر از آن، قابل اجرا است. نسخه اولیه نرم افزار، فاقد واسط گرافیکی (از قبیل نمودارها)، جهت نمایش کمیت ها است و کمیت ها به صورت متن نمایش داده می شوند. شکل ۱۱ صفحه اصلی نرم افزار را نمایش می دهند. از آنجایی که گره های جمع آوری داده محلی، رایانه های از نوع سامانه جاسازی شده هستند، قابلیت تهیه نرم افزار برای نمایش داده ها و کنترل این گره ها وجود دارد. در این صورت، قابلیت نمایش داده های گره های اندازه گیری، به صورت محلی، امکان پذیر خواهد شد.



شکل شماره ۱۱: صفحه اصلی نرم افزار گره اصلی.

#### ۵- نتایج پیاده سازی سامانه

نمونه اولیه سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی، ساخته شده است و آزمایش های اولیه بر روی آن موفقیت آمیز بوده است. برای استفاده عملیاتی و بهره برداری از این سامانه، مدارها باید طوری اصلاح شوند که شرایط کار در محیط های صنعتی را دارا باشند. تمهیداتی از قبیل سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)، مقاومت در برابر تداخل الکترومغناطیسی (EMC)، جلوگیری از ورود نویز مشترک، مقاومت در برابر الکتروسیسته ساکن (ESD)، جلوگیری از ورود ولتاژهای گذرا (TV) و قابلیت کارکرد در محدوده دمای صنعتی، باید برای مدارها و گذرگاه ها در نظر گرفته شود.

در مورد سازگاری الکترومغناطیسی، تداخل الکترومغناطیسی، الکتروسیسته ساکن و کارکرد در محدوده دمای صنعتی، برای مدارها، در ساخت مدارها باید از قطعاتی استفاده شود که استانداردهای لازم در رابطه با موارد ذکر شده را داشته باشند. در مورد نویز مشترک و ولتاژهای گذرا، باید از فیلترهای مناسب، برای تمام ورودی ها و خروجی های مدار استفاده شود.

برای پیاده سازی گذرگاه اولیه، باید از تجهیزاتی استفاده شود که قابلیت اطمینان بالایی داشته باشند و قابلیت کار کردن در محیط های صنعتی را دارا باشند. برای پیاده سازی گذرگاه های ثانویه، باید از فیلترهای حذف نویز مشترک و ولتاژهای گذرا، بر روی گذرگاه استفاده شود. نرم افزار طراحی شده برای گره اصلی، آزمایش شده است و در این مرحله از پیاده سازی، قابلیت نمایش کمیت ها و تنظیمات اجزای سامانه را، به صورت نمایش متن، دارد. این نرم افزار باید توسعه یابد و رابط های کاربری تصویری، به آن افزوده شود.

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از سامانه کنترل و مانیتورینگ بومی، قابلیت کنترل و نمایش تعداد ۲۵۶ تجهیز فراهم می‌شود. این سامانه طوری طراحی شده است که قابلیت گسترش تعداد تجهیزات در آن وجود دارد. اتصال سایر تجهیزات مورد استفاده در صنایع به این سامانه امکان‌پذیر است. ساخت مدارهای اندازه‌گیری در داخل کشور با هزینه پائین میسر است و همچنین سایر تجهیزات این سامانه از قبیل سامانه‌های جاسازی شده و رایانه، تجهیزاتی معمولی و رایج هستند و به‌آسانی در دسترس قرار دارند؛ بنابراین پیاده‌سازی سامانه مدیریت و نمایش شبکه قدرت بومی، جایگزین مناسبی برای نمونه‌های خارجی آن است. برای بهره‌برداری عملیاتی از سامانه، شرایط آزمایش‌های میدانی و اخذ استانداردهای مورد تأیید صنایع، باید فراهم شود.

## منابع

1. [RFC0894] Charles Hornig., Symbolics Cambridge Research Center., "A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks", RFC 894, April 1984.  
<https://tools.ietf.org/html/rfc894>.
2. [RFC4253] T. Ylonen., SSH Communications Security Corp, C. Lonvick, Ed., Cisco Systems, Inc., "The Secure Shell (SSH) Transport Layer Protocol", RFC 4253, January 2006.  
<https://tools.ietf.org/html/rfc4253>.
3. ANSI/ TIA/ EIA-485-A-1998 Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint

## Design and implementation of local management and monitoring system

Mohsen Gorbanali Afjeh, Mahdi Afghani

*Iranian research institute for electrical engineering – ACECR, Tehran, Iran  
Converters & Power Supplies center on JDEVS, Tehran, Iran*

---

### Abstract

In this paper, the implementation of management and monitoring system Considered. The system consists three types of nodes. The system includes measurement nodes, are Measurement nodes, main node and the local data collection node. The main node is used to control, display, record and analyze the data in system. The System can be installed in high and low voltage post and, oil and gas industry sand other industries.

**Keywords:** management, control and monitoring system, Measurement nodes

---