**MÓDULO 2:**

**IDENTIFICADOR DE CURTO-CIRCUITO IEC E FUNÇÕES DE PROTEÇÃO EM TEMPO REAL**

**Documento TR-01  
Versão 2.0 de abril de 2024  
Projeto da disciplina STR  
www.feelt.ufu.br**

**Alan Petrônio Pinheiro**

Coordenador do projeto – UFU/LRI

**Execução e pesquisa:**

Thiago Henrique Arbuini Rodrigues - 11911ECP002

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1. DATA VERSÃO ORIGINAL**  19-03-2024 | | **2. DATA ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO**  23-04-2024 | | **3. DATA COBERTA**  MAR/24 ATÉ MAI/24 |
| **4. TÍTULO DESTE DOCUMENTO**  REPORTE TÉCNICO DO IDENTIFICADOR DE CURTO-CIRCUITO | | | | **5a. PROCESSO SEI DO P&D**  - |
| **5b. NÚMERO PROJETO P&D**  - |
| **6. AUTOR(ES)**  THIAGO HENRIQUE ARBUINI RODRIGUES | | | | **5c. ETAPA DO PROJETO**  TODAS |
| **5d. TIPO DE PRODUTO**  DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DE SOFTWARE DE DISCIPLINA STR |
| **7. ENDEREÇO** | | | | **8. NÚMERO DO DOCUMENTO** |
| AV. JOÃO NAVES DE ÁVILA, 2121, BLOCO 3N – UBERLÂNDIA - MG | | | | **TR-****01** |
| **9. DISTRIBUIÇÃO DESTE DOCUMENTO**  DISTRIBUIÇÃO ABERTA A TODOS OS INTERESSADOS. | | | | |
| **10. NOTAS COMPLEMENTARES**  - | | | | |
| **11. RESUMO**  ESTE DOCUMENTO DESCREVE O FUNCIONAMENTO DE UM MÓDULO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA O SETOR ELÉTRICO: UMA APLICAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO DE CURTO-CIRCUITO COM FUNÇÕES DE PROTEÇÃO ANSI. | | | | |
| **12. PALAVRAS-CHAVE**  P&D; IOT; SISTEMA EM TEMPO REAL, MERGE UNIT, SISTEMA SUPERVISÓRIO, MEDIÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA. | | | | |
| **13. CLASSIFICAÇÃO SEGURANÇA:**  **ABERTA** | **14. NÚMERO DE PÁGINAS**  - | | **15. NOME DO RESPONSÁVEL PRINCIPAL E CONTATO**  THIAGO HENRIQUE ARBUINI RODRIGUES  EMAIL: tharbuini@gmail.com | |

****

**HISTÓRICO DE VERSÕES DESTE TR**

**Tabela 1** – *Histórico de versões deste reporte técnico.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Versão** | **Data** | **Modificações** |
| 1.0 | março/2024 | * Principais elementos de projeto * Requerimentos básicos * Modelagem de pacotes e fluxo de pacotes * Interfaces básicas |
| 2.0 | abril/2024 | * Nova interface |

|  |
| --- |
| **SUMÁRIO** |
| [RESUMO GERAL 4](#_Toc158894411)  [1 – Introdução: visão geral da solução 4](#_Toc158894412)  [1.1 – Propósito e escopo 4](#_Toc158894413)  [1.2 – Produto: perspectivas e funções 5](#_Toc158894414)  [1.3 – Restrições do produto e considerações 6](#_Toc158894415)  [2 – Requisitos 7](#_Toc158894416)  [2.1 – Cenários de uso 7](#_Toc158894417)  [2.2 – Requisitos e validação 8](#_Toc158894418)  [2.3 – Versionamento 9](#_Toc158894419)  [2.4 – Elementos de projeto 10](#_Toc158894420)  [2.4.1 – Módulo de medição 10](#_Toc158894421)  [2.4.2 – Máquina de estados 10](#_Toc158894422)  [2.4.3 – Interfaces de usuário 11](#_Toc158894423)  [2.5 – Interfaces de comunicação e infra de TIC 12](#_Toc158894424)  [3 – Modelagem-métodos 13](#_Toc158894425)  [3.1 – Blocos de elementos principais 13](#_Toc158894426)  [3.2 – Tabela geral de objetos IPSO e recursos de URI 15](#_Toc158894427)  [3.3 – Modelagem de recursos 15](#_Toc158894428)  [3.3.1 – Eventos de carregamento da tela principal 15](#_Toc158894429) |

‘

# RESUMO GERAL

Este reporte técnico aborda os elementos do sistema identificador de curto-circuito que compõe a solução de sistema supervisório para o setor elétrico. O software a ser desenvolvido é responsável por ler pacotes da rede, com medições de correntes fornecidas por um módulo gerador de pacotes, e identificar curto-circuito seguindo a função 51 da tabela ANSI (sobrecorrente temporizada) e curva de curto-circuito IEC. Esse módulo é apenas uma parte do sistema supervisório.

# 1 – Introdução: visão geral da solução

## – Propósito e escopo

O sistema a ser desenvolvido tem o objetivo de, ao receber pacotes da rede contendo informações de corrente, analisá-las usando normas e curvas de curto-circuito e identificar eventos na rede.

|  |
| --- |
| ***Módulo 1:***  *Hardware de medição contínua MU*  **Módulo 2:**  Identificação curto-circuito IEC e funções de proteção  ***Módulo 4:***  *Filtragem de parâmetros/ eventos em tempo real*  ***Módulo 3:*** *Monitoramento visual séries históricas, parametrização e info. Outros módulos*  **Módulo 5:**  *IEDs atuadores* |
| **Figura 1.1.1:** Visão geral de escopo. |

Desta maneira, ainda que o *Módulo 2* tenha função de identificar evento de curto-circuito na rede, também atenderá características do módulo de atuação, em particular o *Módulo 5 – IEDs atuadores*.

É importante ressaltar que normalmente há mais de um dispositivo enviador de pacotes a ser observado. Portanto, o módulo deve ser capaz de monitorar tais dispositivos simultaneamente e identificar (ou não) os eventos que ocorrerem. A seguir é mostrado um exemplo da distribuição lógica de uma subestação:

|  |
| --- |
| Electronics | Free Full-Text | A Survey on Vulnerabilities and  Countermeasures in the Communications of the Smart Grid |
| **Figura 1.1.2:** Visão geral de cenário. |

## 1.2 – Produto: perspectivas e funções

Este produto tem como função monitorar a rede através da análise de pacotes recebidos com a maior precisão possível e atendendo requerimentos de tempo nas ocasiões especiais de eventos elétricos. As funções do sistema são:

1. Fazer análise a cada pacote recebido;
2. Em caso de evento, enviar o pacote de emergência em broadcast por rede ethernet em IP (confiável);
3. Responder as demandas dos requerimentos de tempo da norma IEC61850.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 1.2.1:** *Principais elementos do projeto.* |

Para entender o sistema, comecemos a análise observando a **Figura 1.2.1**. Com base nisto, descreve-se os elementos:

* **Módulo hardware gerador de dados:**  envia dados de medidas de corrente periodicamente para a rede.
* **Módulo algoritmo de análise das medições:**  faz a análise dos valores de corrente obtidos do primeiro módulo e identifica se houve um evento na rede através da curva de curto-circuito IEC.
* **Módulo gerente de pacotes:**  através dos dados analisados, monta e envia pacotes de alarme para a rede conforme urgência.

## 1.3 – Restrições do produto e considerações

A solução geral aqui prevista foi testada para condições específicas e nestas, foram identificadas as seguintes restrições ou limitações para os quais o sistema proposto não foi projetado para atuar. Estas restrições e limitações são mostradas na tabela da sequência.

**Tabela 1.3.1:** *Restrições e limitações previstas para sistema.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nº** | **Restrição/limitação** | **Descrição/detalhamento** |
| 1 | O sistema é voltado apenas para SE de energia que seguem o padrão IEC 61850 | Ele se aplica somente as normas de SE de média tensão da IEC, especialmente a IEC 61850, para tempos de atuação, arquitetura, configuração e formatação de dados. |
| 2 | O sistema é focado apenas para bay de processos | Sua medição e normalização é para atuação em transformadores de potência, disjuntores AT/MT, chaves seccionadoras e cubículos de medição. |
| 3 | O sistema precisa de um computador industrial instalado dentro da SE | Para execução é necessário que no ambiente da SE exista um computador industrial apto a operar neste tipo de ambiente e com os mecanismos de proteção corretos. Ainda, ter interfaces de comunicação com latência desprezível. |
| 4 | Sem ausência de redundância ou WDT | Caso o software falhe, não existe nenhum mecanismo de contingência dele. |
| 5 | O sistema emula no máximo 5 dispositivos | O sistema proposto consegue emular só até 5 unidades de ‘dispositivos identificadores’. |

# 2 – Requisitos

## 2.1 – Cenários de uso

Os seguintes cenários foram identificados para este sistema.

1. **Cenário 1 – operação em condições normais**: nele quando não há nenhum evento, o sistema opera em condições normais seguindo a sequência de passos indicada na figura da sequência. Ela ilustra como deve ser seu comportamento.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2.1.1:** *Cenário de aplicação.* |

1. **Cenário 2 – operação em transitórios elétricos e/ou curto-circuito**: nele, o “algoritmo de comportamento” verificou que houve uma mudança abrupta na rede elétrica. Pode ser um princípio de curto-circuito (ainda a confirmar), ou um transitório, mas que ainda será identificado pela curva e o tempo limite.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2.1.2:** *Cenário de aplicação.* |

## 

## 2.2 – Requisitos e validação

Com base nas avaliações de cenário de uso, desenvolveu-se na sequência a seguinte lista de requerimentos, vista na tabela da sequência.

**Tabela 2.2.1:** *Mapa de requerimentos.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Classe/**  **Componente** | **Nº req.** | **Requisito** | **Origem requisito** | **Prior.** | **Tipo validação** |
| 1 - Robustez | 1.1 | Ter alimentação auxiliar para não cair (bateria) | Não parar de funcionar durante eventos elétricos extremos | 1 | Testar em cenário comutando desligamento das fontes por X vezes e analisar disponibilidade do serviço. |
| 1.2 | Ter redundância na alimentação | 1 | Usar uma fonte AC e outra fonte DC. |
| 2 - Funcional | 2.1 | Recebe medidas de corrente por rede ethernet em taxas aceitáveis para normas proteção | Norma IEC | 1 | Implantar um módulo de analog front end e validar medidas usando maleta de relé para geração de sinais. |
| 2.2 | Evitar sobrecarregar a rede com pacotes (QoS) (taxa perda < 20%) | Um dispositivo em alarme não deve interferir em outro dispositivo. | 1 | Testar eventos usando um switch 10/100Mb com 10 dispositivos em evento de curto e ver a taxa de erro de pacotes |
| 2.3 | No evento elétrico o pacote deve ser enviado rapidamente a fim de respeitar o requerimento de tempo de atuação de sistema (recebimento de pacote + identificação) inferior a 2 ciclos de 60Hz (< 32ms) | Norma IEC | 1 | Fazer um recurso no software que aumenta o valor de corrente de modo que os outros módulos identifiquem este aumento, mandem as medidas instantaneamente e criamos uma rotina para medir tempo de envio e recebimento que deve ser inferior a 10% do tempo indicado como limite (~3ms) |
| 2.4 | A aplicação deve suportar 10 dispositivos emissores de pacotes | - | 2 | Fazer um outro módulo de software de teste que identifique os pacotes na rede e seja capaz de contabilizar a quantidade de dispositivos |
| 3 – Não funcionais | 3.1 | Alto MTBF (superior a 1 falha/ano com DEC < 2 mim) | Alta disponibilidade | 2 | Simulação em software |
| 3.2 | Sistema deve contribuir para decrementar DEC e FEC evitando falsos positivos | ANEEL | 2 | Avaliações feitas pelos usuários com base em cenários estatísticos contabilizando-se o tempo (e frequência) de desligamentos desnecessários em que o sistema aqui proposto poderia atuar evitandos tais desligamentos |

## 2.3 – Versionamento

Os recursos do software são distribuídos em versões conforme estimado pela tabela na sequência.

**Tabela 2.3.1:** *Tabela de recursos do sistema e versão.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Versão** | **Recurso** |
| **1.0**  *(mar/24)* | ■ Receber pacotes da rede  ■ Analisar segundo a curva de curto-circuito IEC |
| **2.0**  *(abril/24)* | **□** Plotar visualmente os dados enviados e recebidos  **□** Ter suporte a mais de um dispositivo gerador de pacotes  **□** Fazer análise multithread  **□** Enviar pacote alerta com o número de dispositivo  **□** Estimar QoS |

## 2.4 – Elementos de projeto

### 2.4.1 – Máquina de estados

Baseado nos cenários identificados e requerimentos construídos, tem-se a seguinte proposição para a máquina de estados de uma MU.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2.4.2.1:** *Máquina de estados de uma unidade de monitoramento.* |

Todavia, essa unidade de monitoramento é executada dentro uma aplicação que pode ter mais de uma. Logo, o sistema também deve ter estes recursos:

1. Criação dinâmica de unidades
2. Recepção de dados da rede
3. Estimador de QoS e métricas de tempo
4. Avaliação de disponibilidade de rede

Esses recursos serão incluídos na segunda versão do projeto.

## 2.4.3 – Interfaces de usuário

Para fins de caracterização do sistema, a figura na sequência ilustra a interface desta aplicação indicando alguns de seus recursos previstos.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2.4.3.1:** *Interface principal da aplicação com visuais* |

Na sequência, uma breve descrição destes principais elementos:

|  |  |
| --- | --- |
| ❶ | Listview identificando: ID dispositivo, corrente. e o IP de conexão. |
| ❷ | Plot de gráfico para visualização dos dados recebidos, sempre é atualizado com a maior corrente entre os dispositivos. |
| ❸ | ToolStrip identificando o IP de conexão do dispositivo gerador. |

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2.4.3.2:** *Interface principal da aplicação sem visuais* |

Na sequência, uma breve descrição destes principais elementos:

|  |  |
| --- | --- |
| ❶ | Listview identificando: ID dispositivo, corrente. e o IP de conexão. |
| ❷ | ToolStrip identificando o IP de conexão do dispositivo gerador. |

# 3 – Modelagem

## 3.1 – Tabela geral de objetos IPSO e recursos de URI

Os recursos a seguir descrevem os pacotes para eventos e para recebimento de dados. Estes códigos estão dispostos na tabela da sequência.

**Tabela 3.1.1:** *Tabela IPSO de recursos do projeto.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Objeto** | **Recurso** | **Significado** |
| **Nível 1** |
| **99**  *Mensagens com medidas* | **1**  Pacote de alarme | Mensagem de alarme para eventos elétricos |
| **100** *Pacote com medidas* | **1**  Pacote de medidas recebidas | Mensagens com medidas de corrente obtidas (geradas) por outro programa |

## 3.2 – Fluxo geral de mensagens

A figura na sequência ilustra resumidamente as mensagens que são trocadas, em diferentes circunstâncias, entre o sistema MU e demais módulos.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 3.2.1:** Diagrama do fluxo de mensagens. |

O gerador de dados manda constantemente pacotes 100/1 para a rede e, no caso, são recebidas pelo módulo identificador de curto-circuito. Este só envia pacotes 99/1 quando identifica pela análise da curva a presença de curto-circuito na rede.

## 3.3 – Modelagem detalhada dos recursos

### 3.3.1 – Envio de mensagens de medição

A figura na sequência ilustra o funcionamento do envio e recebimento de pacotes de medidas e o envio de pacotes de alarme.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 3.3.1.1:** Diagrama pacotes e eventos associados ao envio de mensagens. |

O formato dos pacotes é descrito a seguir:

**Tabela 3.3.1.1:** *Formato do pacote de dados 100/1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Campo** | **Valores** | **Significado** |
| URI | **100/1** | Pacote de envio de medidas regulares |
| idDispositivo | int | Identificador de qual MU está gerando este pacote |
| numPct | int | Número do pacote gerado incrementalmente |
| medidas | [MedidasCorrente] | Três medidas de corrente |

**Tabela 3.3.1.2:** *Formato do pacote de dados 99/1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Campo** | **Valores** | **Significado** |
| URI | **99/1** | Pacote de envio de controle do protocolo de medição |
| idDispositivo | int | Identificador de qual MU está gerando este pacote |
| emCurto | boolean | Flag identificando curto ou não |
| momento | string | Tempo quando o pacote foi enviado |