



XXVII Seminário Nacional de

Produção e Transmissão de Energia Elétrica

DIAGNÓSTICOS E MONITORAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO EM SUBESTAÇÕES DIGITAIS

Informe Técnico GE - 125

Paulo Sergio Pereira Junior

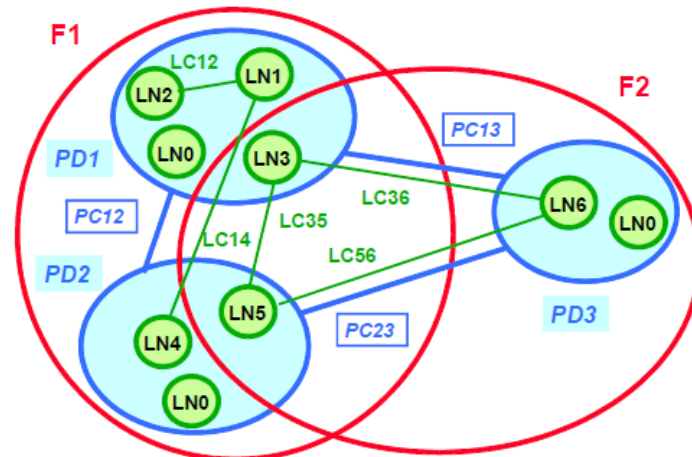


O óbvio, nem sempre é tão óbvio...





- Subestações **totalmente digitais** baseadas na **IEC 61850**:
 - **Process Bus** destaca a **performance** da rede de comunicação **Ethernet**.
- Item **8.4.2** da **IEC 61850-5 Ed.2**:
 - Diferentes **funções de aplicação distribuídas** através de alocações de LNs em diferentes PDs: **troca de informações** através da rede de comunicação.





- **Conceito de monitoramento de rede: verificação sistemática** em busca de **anomalias** que podem comprometer o **correto funcionamento** da **rede de comunicação**;
- **Monitoramento da rede IEC 61850** durante todo o **ciclo de vida** da **subestação**: **FAT/SAT** e testes de **manutenção**;
- **Importância do monitoramento**:
 - **Detecção precoce** de erros;
 - Condições de **operação da rede**;
 - **Redução da indisponibilidade** da rede;
 - **Log** dos eventos de falha da rede;
 - **Segurança e estabilidade** do sistema de energia.

Monitoramento para o PACS: aspectos gerais



- **Sistema de monitoramento** como uma **ferramenta essencial** para **deteção de falhas de rede** da subestação digital;
- **Atualização dos procedimentos de rede - ONS:**
 - **Inclusão do monitoramento** das redes IEC 61850;
 - **Rede PACS** deve incluir **funções de monitoramento** capazes de:
 - Deteção de **anomalias** ou **falta de mensagens**;
 - Deteção de **falta** de sinal de **sincronismo**;
 - Verificação de **tempo de propagação anormal**;
 - **Sistema independente**;
 - **Armazenamento** da **gravação** dos **eventos de falha**.
- **Dispositivo dedicado** para o monitoramento de rede – “**RDP (Registrador Digital de Perturbação) de rede**”:
 - Implementado em **hardware e software** para abranger todos os **requisitos de tempo crítico** de **GOOSE e SV**.

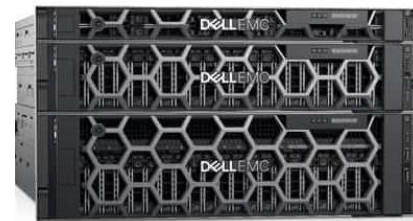


- **Aspectos de rede** abrangidos pelo **sistema de monitoramento**:
 - **Integridade** das mensagens;
 - **Configuração e segurança** dos dados;
 - **Estrutura dos frames**;
 - **Sincronismo** do sistema;
 - **Estatísticas de tempo** das mensagens;
 - Configuração para **Teste/Simulação**;
- **Alertar** potenciais **falhas de comunicação** ou **invasões**;
- **Gravação de arquivos PCAP**, inclusive na ocorrência de falta;
- Monitoramento através de **porta Trunk** ou **Mirror**.

Sistema de monitoramento da rede IEC 61850



- **Funcionalidades** do sistema de monitoramento:
 - **Portátil / Rack**
 - Modo de **validação** do SCL:
 - **SCL importado x frame na rede.**
 - Modo de **Sniffer**:
 - Busca de **tráfego não previsto** nos arquivos **SCL**.
 - Modo de **Supervisão**:
 - **Erros de rede**;
 - Eventos de **supervisão**: GOOSE, SV e PTP;
 - Gravação de **PCAP**.
 - Modo de **Estatística**:
 - **Análise estatística** do tráfego GOOSE e SV.





Sistema			
GO/SV	Todos		
IED	SCL	Est	Sup
SES4UPB1	⚠	-	⚠
SES4BUC1	⚠	-	⚠
SES4EUC1	⚠	-	⚠
SES4DUC1	⚠	-	⚠
SES4CUC1	-	-	-
SESSAGW1	-	-	-
SES4AUP2	-	-	-
SES4CUP1	-	-	-
SES4CUP2	-	-	-
SES4BUP2	-	-	-
SES4DUP1	-	-	-
SES4DUP2	-	-	-
SES4UPB2	-	-	-
SES4FMUC1	-	-	⚠
P_SES4FUPC	-	-	-
SES4FMUP1	-	-	⚠
SES2EMUC1	-	-	-
SES2EUC1	-	-	-
SES2AUC1	-	-	-
SES2AMUC1	-	-	⚠
SES2BMUC1	-	-	⚠
SES2BUC1	-	-	-
SES4FMUP2	-	-	⚠
D_SES4FUPC	-	-	-
SES2EMUP1	-	-	-
D_SES4HUPC	-	-	-
SES4HMUC1	-	-	⚠
SES4HMUP1	-	-	⚠

GO	SV	SES4AUC1	SES4BUP1	SES4AUP1	SES4UPB1	SES4RDP1	SES4RDP2	SESSAUC1	SES4BUC1	SES4EUC1	SES4DUC1	SES4CUC1	SESSAGW1	SES4AUP2	SES4CUP1	SES4CUP2	SES4BUP2	SES4DUP1	SES4DUP2	SES4UPB2	SES4FMUC1
		SES4AUC1GENILLN0\$GO\$UPs																			
		SES4AUC1GENILLN0\$GO\$4EUC1																			
		SES4BUP1GENILLN0\$GO\$RDP2																			
		SES4BUP1GENILLN0\$GO\$UP2																			
		SES4AUP1GENILLN0\$GO\$RDP1																			
		SES4AUP1GENILLN0\$GO\$UP2																			
		SES4UPB1GENILLN0\$GO\$UCs			X																
		SES4UPB1GENILLN0\$GO\$UPs			X																
		SES4UPB1PROTALLN0\$GO\$RDPs																			
		-																			
		-																			
		-																			
		SES4BUC1GENILLN0\$GO\$UPs																			
		SES4BUC1GENILLN0\$GO\$4EUC1							X												
		SES4EUC1GENILLN0\$GO\$UCs								X											
		SES4EUC1GENILLN0\$GO\$UPs								X											
		SES4EUC1GENILLN0\$GO\$RDPs																			
		SES4DUC1GENILLN0\$GO\$UPs																			
		SES4DUC1GENILLN0\$GO\$4EUC1																			
		SES4CUC1GENILLN0\$GO\$UPs																			
		SES4CUC1GENILLN0\$GO\$4EUC1																			
		SESSAGW1EXTALLN0\$GO\$SAUC1											X								
		SES4AUP2GENILLN0\$GO\$UP1												X							
		SES4AUP2GENILLN0\$GO\$RDP1													X						
		SES4CUP1GENILLN0\$GO\$UP2																			
		SES4CUP1GENILLN0\$GO\$RDP1																			
		SES4CUP2GENILLN0\$GO\$RDP1																			
		SES4CUP2GENILLN0\$GO\$UP1																			
		SES4BUP2GENILLN0\$GO\$RDP2																			
		SES4BUP2GENILLN0\$GO\$UP1																			
		SES4DUP1GENILLN0\$GO\$RDP2																			
		SES4DUP1GENILLN0\$GO\$UP2																			
		SES4DUP2GENILLN0\$GO\$RDP2																			
		SES4DUP2GENILLN0\$GO\$UP1																			
		SES4UPB2GENILLN0\$GO\$UCs																			X
		SES4UPB2GENILLN0\$GO\$UPs																			X
		SES4UPB2PROTALLN0\$GO\$RDPs																			X
		SES4FMUC1CTRLILLN0\$GO\$F4																			
		SES4FMUC1CTRLILLN0\$GO\$C2																			
		SES4FMUC1CTRLILLN0\$GO\$IED																			
		SES4FMUC1CTRLILLN0\$GO\$PBPhI																			
		SES4FMUC1MEASILLN0\$GO\$TRtemp																			
		SES4FMUC1TOLLILLN0\$GO\$OLTC																			
		SES4FMUC1PROTALLN0\$GO\$SparaB1																			
		SES4FMUC1TRILLN0\$GO\$TR																			

Network Analysis and Diagnostics 1.00.000 Build 0 Beta (32 Bits) - Generic PC (Net) (/F7HJN3) - Npcap

Arquivo Início Opções Software

Importar SCL Adicionar IED

Importar SCL Adicionar IED Remover Não Previstos -> IED Teste Múltiplo Comparar SCL Não Previstos Iniciar Estatística Supervisão Iniciar Gravação Parar Limpar Apresentar Relatório Restaurar Layout

Arquivo SCL

Configuração Geral Matriz (Env/Rec)

Mostrar Lista de Eventos

Filtro: GO/SV

Todos > IEDs

MUPMN2_5L1

MUPMN2_5D1

PMN2_5L1

RL1

MU1

Arquivo SCL Multi Teste Verificações

Importar SCL Adicionar IED Remover Não Previstos -> IED Teste Múltiplo Comparar SCL Não Previstos Iniciar Estatística Supervisão Iniciar Gravação Parar Limpar Apresentar Relatório Restaurar Layout

Limpeza Relatório Layout

Origem Geral Matriz (Env/Rec) Validação SCL Comparação SCL x Rede Não Previstos Estatística **Supervisão** Gravação

Configuração Lista de Eventos **Painel de Status**

Mostrar Lista de Eventos

Visualização: Painel Simples

Filtro: GO/SV Todos

Todos > IEDs > SES4FMUC1

GOOSE

SES4FMUC1CTRL/LLN0\$GOSF4

SES4FMUC1CTRL/LLN0\$GOSC2

SES4FMUC1CTRL/LLN0\$GOSIED

SES4FMUC1CTRL/LLN0\$GOSPBnl

SES4FMUC1MEAS/LLN0\$GOSTRtemp

SES4FMUC1OLTC/LLN0\$GOSOLTC

SES4FMUC1PROT/LLN0\$GOSpareBI

SES4FMUC1TR/LLN0\$GOSTR

SAMPLED VALUE

SES4FMUC1SV1

<input checked="" type="checkbox"/> GO GOOSE		PCAP
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Time to live (TTL) expirado	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Fora de sequência	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Erro de formatação	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Transfer time maior	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Comparação SCL	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Nunca visto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Validade 'GOOD' mudou	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Test Bit do Quality mudou	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Alteração nos Bits do Time Quality	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Clock não sinc. (Time Quality)	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Mudança rápida SttNum	<input checked="" type="checkbox"/>

<input checked="" type="checkbox"/> PTP		PCAP
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Tempo entre mensagens	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Múltiplos mestres	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Perda de mensagens	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Mudou precisão do mestre	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Mudou a classe do clock	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Mudou ID do mestre	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Atualizou offset do UTC	<input checked="" type="checkbox"/>

<input checked="" type="checkbox"/> SV Sampled Values		PCAP
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Time Out	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Fora de sequência	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Erro de formatação	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Processamento maior	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Comparação SCL	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Nunca visto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Validade 'GOOD' mudou	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Test Bit do Quality mudou	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Escorregamento do clock	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Flag de sincronismo mudou	<input checked="" type="checkbox"/>

<input checked="" type="checkbox"/> Dispositivo		PCAP
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Perda da sincronização	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Sobrecarga	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Estabeleceu sincronização	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Link estabelecido	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Link perdido	<input checked="" type="checkbox"/>

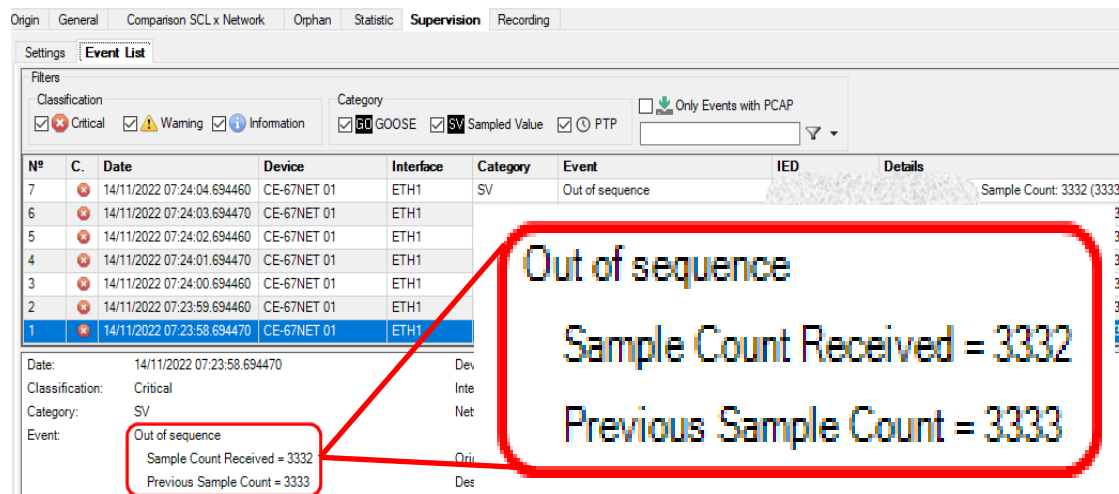
<input checked="" type="checkbox"/> Outros		PCAP
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	GO Não previsto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	SV Não previsto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Redundância PRP	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	Definido pelo USUÁRIO	<input checked="" type="checkbox"/>



- **Eventos de rede em subestações digitais:**
 - **Sistema de monitoramento: detectar e identificar as falhas.**
- **Primeiro estudo de caso: pacotes SV duplicados devido a problemas de RedBox:**
 - **Subestação digital com 13 Merging Units e 168 streams GOOSE inseridas arquitetura de rede;**
 - **Streams SV publicadas na taxa de amostragem preferida da IEC 61869-9 para proteção – 4800 Hz e 2 ASDUs;**
 - **Evento de duplicação do frame SV: a cada segundo, no mesmo smpCnt e na saída da RedBox;**
 - **Detecção pelo sistema de monitoramento: evento “Fora de Sequência” no modo de supervisão, e também pelo modo de Estatística.**



- Evento “Fora de Sequência” – Modo de Supervisão:



The screenshot displays the 'Supervision' tab in a software interface. The 'Event List' section shows a table of events. The event with ID 1 is highlighted, and its details are shown below. A red callout box highlights the event description and sample count information.

Nº	C.	Date	Device	Interface	Category	Event	IED	Details
7	✖	14/11/2022 07:24:04.694460	CE-67NET 01	ETH1	SV	Out of sequence		Sample Count: 3332 (3333)
6	✖	14/11/2022 07:24:03.694470	CE-67NET 01	ETH1				3)
5	✖	14/11/2022 07:24:02.694460	CE-67NET 01	ETH1				3)
4	✖	14/11/2022 07:24:01.694470	CE-67NET 01	ETH1				3)
3	✖	14/11/2022 07:24:00.694460	CE-67NET 01	ETH1				3)
2	✖	14/11/2022 07:23:59.694460	CE-67NET 01	ETH1				3)
1	✖	14/11/2022 07:23:58.694470	CE-67NET 01	ETH1				3)

Event Details:

Date: 14/11/2022 07:23:58.694470
Classification: Critical
Category: SV
Event: Out of sequence
Sample Count Received = 3332
Previous Sample Count = 3333

Out of sequence
Sample Count Received = 3332
Previous Sample Count = 3333



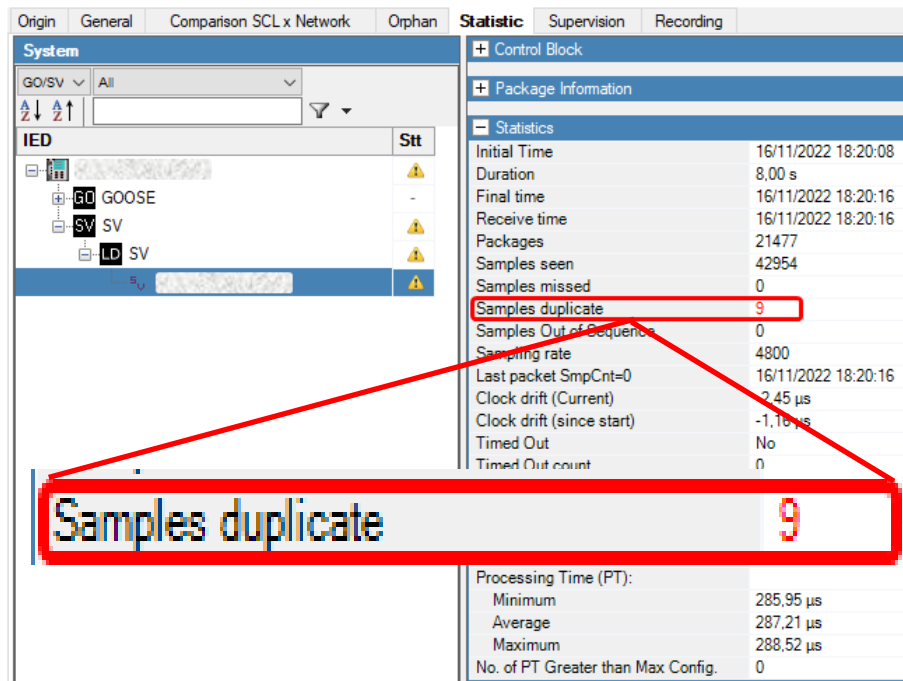
- Gravação do PCAP:

```
> Frame 2716: 209 bytes on wire (1672 bits), 209 bytes captured on interface 0, capture length 209 bytes on interface 0
  Ethernet II, Src: Intel_Ethernet_Controller_82:45:16:00:03:00, Dst: Intel_Ethernet_Controller_82:45:16:00:03:00, Type: IEC61850 Sampled Values
    IEC61850 Sampled Values
      APPIID: 0x5aca
      Length: 165
      > Rese
      Rese
    > savf
    seqASDU: 2
      > ASDU
        svID:
          smpCnt: 3332
          confRev: 100001
          smpSynch: global (2)
          > PhsM
          > gmIde
          smpCnt: 3333
        > ASDU
          svID:
            smpCnt: 3333
            confRev: 100001
            smpSynch: global (2)
            > PhsM
            > gmIde
            smpCnt: 3332
```

```
> Frame 2717: 209 bytes on wire (1672 bits), 209 bytes captured on interface 0, capture length 209 bytes on interface 0
  Ethernet II, Src: Intel_Ethernet_Controller_82:45:16:00:03:00, Dst: Intel_Ethernet_Controller_82:45:16:00:03:00, Type: IEC61850 Sampled Values
    IEC61850 Sampled Values
      APPIID: 0x5aca
      Length: 165
      > Rese
      Rese
    > savf
    seqASDU: 2
      > ASDU
        svID:
          smpCnt: 3332
          confRev: 100001
          smpSynch: global (2)
          > PhsM
          > gmIde
          smpCnt: 3333
        > ASDU
          svID:
            smpCnt: 3333
            confRev: 100001
            smpSynch: global (2)
            > PhsM
            > gmIde
            smpCnt: 3332
```



- **Modo de Estatística:**



System	
GO/SV	All
IED	Stt
GOOSE	-
SV	!
LD SV	!

Statistic	
Initial Time	16/11/2022 18:20:08
Duration	8,00 s
Final time	16/11/2022 18:20:16
Receive time	16/11/2022 18:20:16
Packages	21477
Samples seen	42954
Samples missed	0
Samples duplicate	9
Samples Out of Sequence	0
Sampling rate	4800
Last packet SmpCnt=0	16/11/2022 18:20:16
Clock drift (Current)	2,45 µs
Clock drift (since start)	-1,16 µs
Timed Out	No
Timed Out count	0

Processing Time (PT):	
Minimum	285,95 µs
Average	287,21 µs
Maximum	288,52 µs
No. of PT Greater than Max Config.	0



- **Não-conformidade** do arquivo SCL com a recomendação da IEC 61850-9-2 Ed. 2, Anexo B. Detectado através do modo de Validação SCL:

Service	Recommended address range assignments	
	Starting address (hexadecimal)	Ending address (hexadecimal)
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF
Multicast sampled values	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF

```
<SMV ldInst="SV" cbName= >  
  <Address>  
    <P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">8C6</P>  
    <P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">6</P>  
    <P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-04-24-23</P>  
    <P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">5ACA</P>  
  </Address>
```

01-0C-CD-04-24-23

```
> Frame 2717: 209 bytes on wire (1672 bits), 209 bytes captured (1672 bits) on interface  
> Ethernet II, Src: , Dst: Iec-Tc57_04:24:23 (01:0c:cd:04:24:23)  
v IEC61850 Sampled Values  
  APPID: 0x5aca  
  Length: 195  
  > Reserved 1: 0x0000 (0)  
  Reserved 2: 0x0000 (0)  
  v savPdu  
    noASDU: 2  
    v seqASDU: 2 items  
      v ASDU  
        svID:
```

(01:0c:cd:04:24:23)

Segundo Estudo de Caso



- Subestação digital com **4 diferentes fornecedores**, e streams **GOOSE** e **SV** trafegando na **rede**:
 - **Falhas de rede**: frames **GOOSE** duplicados e **perda de sincronismo da MU**;
 - **Detecção pelo sistema de monitoramento**: modos de **supervisão** e **estatística**.

The screenshot displays the 'Supervision' tab in the CONPROVE software. The 'Event List' section shows a single event with the following details:

Nº	IED	Details
1		SequencNum: 20 (20)

The event description is:

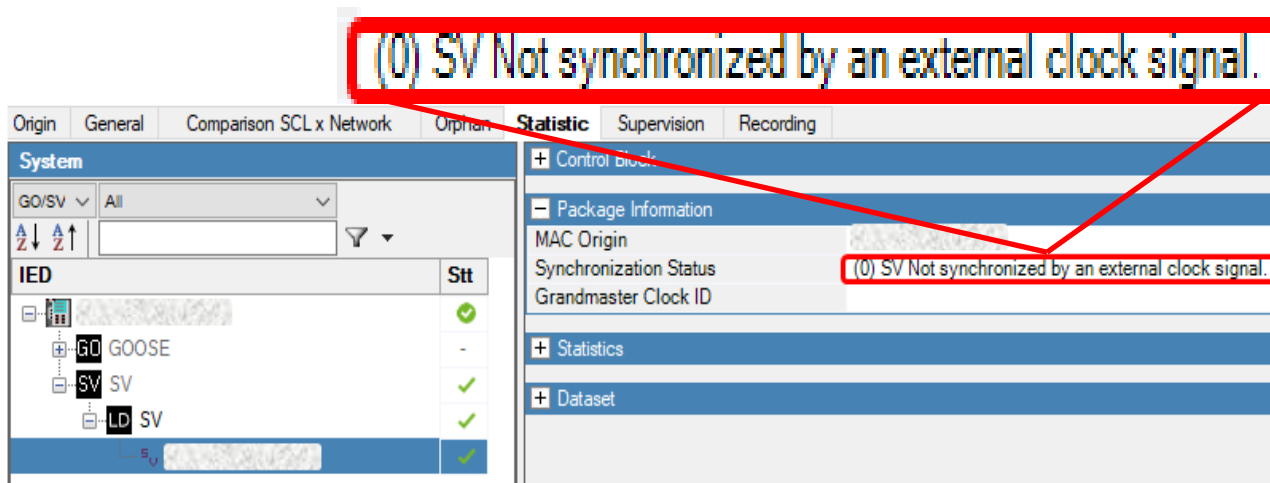
Out of sequence
State Number (Received = 2, Previous =2)
Sequence Number (Received = 20, Previous = 20)

Metadata:

- Date: 01/12/2022 10:07:59.978470
- Device: CE-67/NET 01
- Classification: Critical
- Interface: ETH1
- Category: GOOSE
- Network Traffic: Download PCAP
- Event: Out of sequence
- Origin: [Redacted]
- Destination MAC: [Redacted]



(0) SV Not synchronized by an external clock signal.



The screenshot displays a software interface with the following components:

- System View:** A tree view on the left showing IEDs (GOOSE, SV, LD) with their status (Stt) indicated by green checkmarks.
- Statistic Tab:** The active tab on the right, showing details for the selected SV object.
- Package Information:** A section containing the following fields:
 - MAC Origin: [blurred]
 - Synchronization Status: **(0) SV Not synchronized by an external clock signal.**
 - Grandmaster Clock ID: [blurred]
- Statistics and Dataset:** Additional sections below the Package Information, both currently collapsed.



- Subestação digital com **16 Merging Units** e **148 streams GOOSE** trafegando na rede;
- **Eventos de falha:**
 - **Incompatibilidade dos arquivos SCL;**
 - Detecção pelo **sistema de monitoramento**: modo de **Validação SCL**.

AppID	10242	AppID	9984
Control Block		Control Block	✓
MAC Destination		MAC Destination	✓
AppID	10242	AppID	9984 ⚠
GOOSE ID		GOOSE ID	✓
Dataset		Dataset	✓
VLAN ID	2242	VLAN ID	2242 ✓
VLAN Priority	6	VLAN Priority	6 ✓
Needs Commissioning	False	Needs Commissioning	False ✓
Config Rev	40001	Config Rev	40010 ⚠
Simulation	False	Simulation	False ✓
Time to Live	2000 ms	Time to Live	2000 ms ✓
Number of DataSets	4	Number of DataSets	4 ✓

Config Rev	40001	Config Rev	40010
------------	-------	------------	-------



- Estudo detalhado do **sistema de monitoramento no contexto da subestação digital**:
 - Discussão dos **requisitos** para **implementação** de um **sistema completo de monitoramento**.
- A **importância** do sistema de **monitoramento de rede**:
 - **Dispositivo especializado** para **detecção de falhas de rede**.
- Abordagem de **estudos de casos com eventos de falha de rede** em **subestações digitais**, e o **papel do sistema de monitoramento no diagnóstico** dos erros encontrados;
- É esperado que este **trabalho contribua** com o **funcionamento correto** das **redes de comunicação**, de forma a garantir a **segurança e confiabilidade** no **tráfego de dados** nas subestações digitais.

OBRIGADO!



Paulo Sergio Pereira Junior



Promoção



Coordenação

