Automação de Subestações

Prof. Lucas Silveira

Evolution of automation systems

Two major developments led to the **advent of distributed control**:

- Integrated circuits.
- Communication systems.

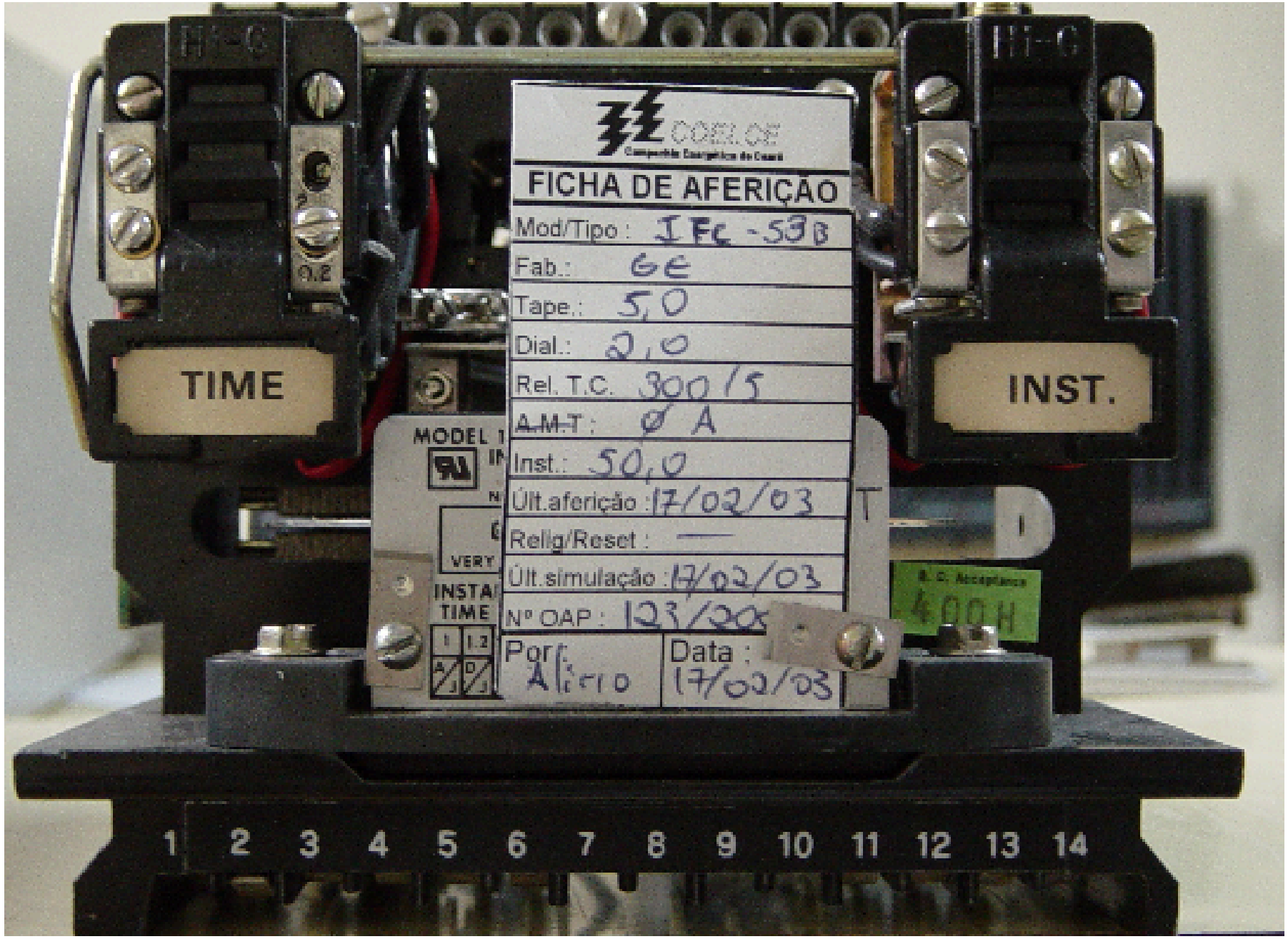
Supervisory control and data acquisition (SCADA) systems are widely used for automation of the power sector and represent an **evolving field**.

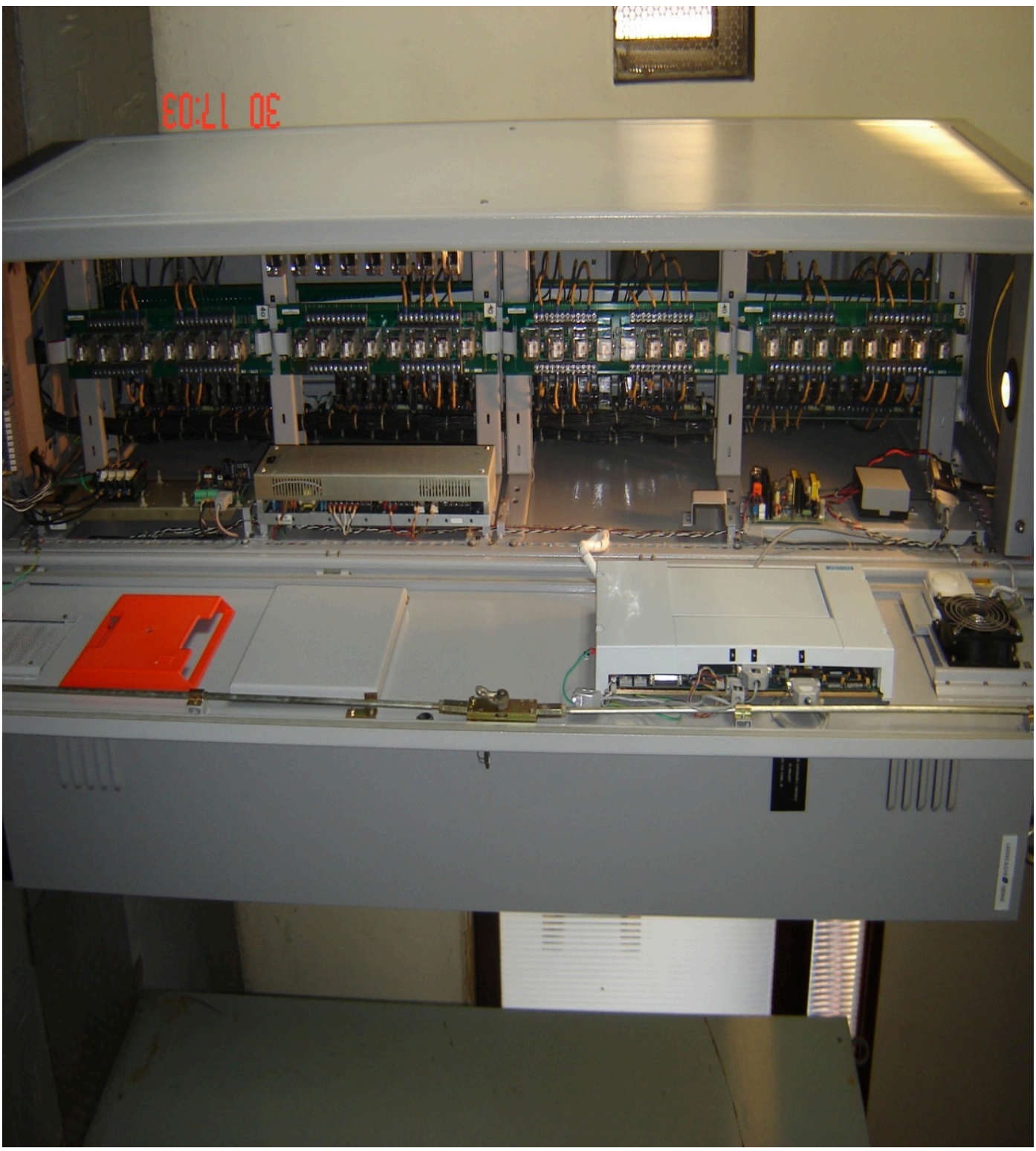
As the **scope of supervisory control applications** changed, so did many of the fundamentals of supervisory control technology.

During the early years all of the systems were electromechanical.

The supervisory systems evolved to using:

- solid-state components,
- electronic sensors, and
- analog-to-digital convertors.


COELCE
Companhia Energética do Ceará
FICHA DE AFERIÇÃO
Mod/Tipo : IFC-53B
Fab.: GE
Tape.: 5,0
Dial.: 2,0
Rel. T.C. 300/5
A.M.T : Ø A
Inst.: 50,0
Últ.aferição : 17/02/03
Relig/Reset : —
Últ.simulação : 17/02/03
Nº OAP : 123/20
Por: Alcio
Data : 17/02/03
TIME
INST.
MODEL
VERY
INSTA
TIME
400H
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14


30 17:03

History of automation systems

In this evolution, the same **remote terminal unit (RTU)** configuration was maintained.

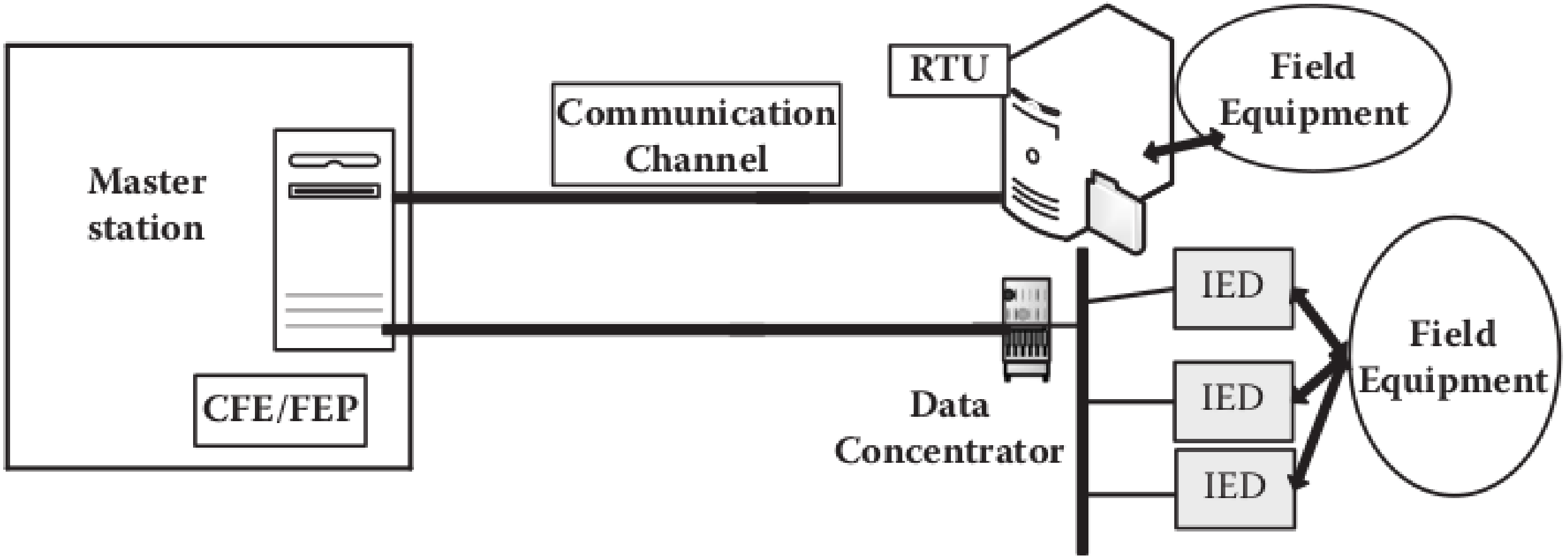
The companies making the RTUs merely upgraded their technology without looking at alternate ways of performing the RTU functions.

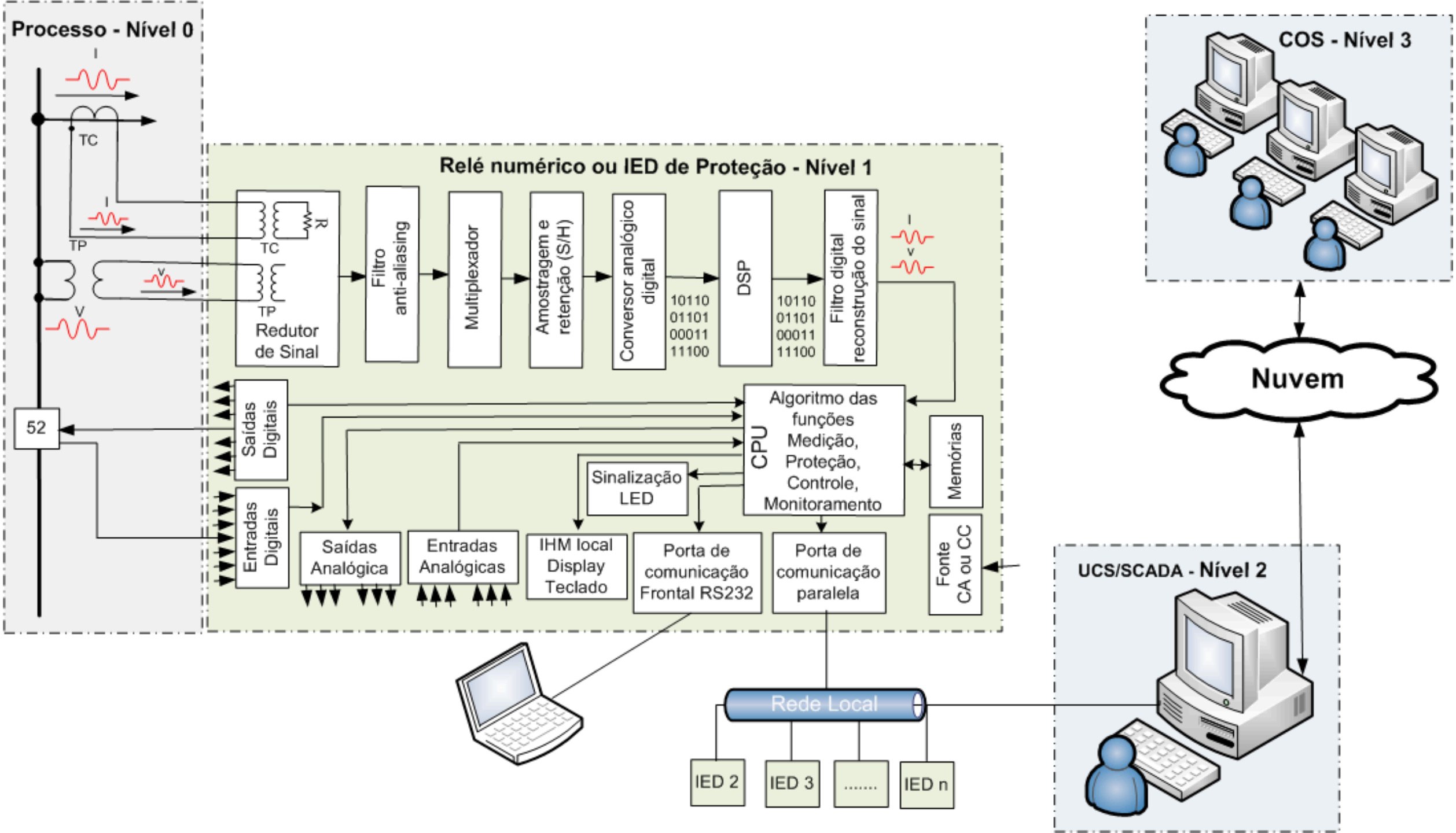
In the **1980s** process control companies began applying their technology and technical approach to the SCADA electric utility market:

RTUs used microprocessor-based logic to perform expanded functions.

Supervisory control and data acquisition (SCADA) systems

> **Definition**: SCADA systems are defined as *a collection* of equipment that will provide an operator at a *remote location* with sufficient information to determine the *status* of particular equipment or a process and cause *actions* to take place regarding that equipment or process, without being physically present.


Master station
CFE/FEP
Communication Channel
RTU
Field Equipment
Data Concentrator
IED
IED
IED
Field Equipment


Processo - Nível 0
I
TC
I
TP
V
V
52
Relé numérico ou IED de Proteção - Nível 1
TC
TP
Redutor de Sinal
Filtro anti-aliasing
Multiplexador
Amostragem e retenção (S/H)
Conversor analógico digital
10110
01101
00011
11100
DSP
10110
01101
00011
11100
Filtro digital reconstrução do sinal
Saídas Digitais
Entradas Digitais
Saídas Analógica
Entradas Analógicas
IHM local Display Teclado
Sinalização LED
CPU
Algoritmo das funções Medição, Proteção, Controle, Monitoramento
Memórias
Fonte CA ou CC
Porta de comunicação Frontal RS232
Porta de comunicação paralela
COS - Nível 3
Nuvem
UCS/SCADA - Nível 2
Rede Local
IED 2
IED 3
.....
IED n

SCADA basic functions

The basic SCADA functions include:

- Data acquisition.
- Remote control.
- Human-machine interface.
- Historical data analysis.
- Report writing.

Unidade Terminal Remota

UTR são dispositivos que possuem basicamente:

- UPC: Unidade central de processamento.
- Cartões de E/S digitis e analógicas.
- Canais de comunicação com protocolos diversos.
- Podem ter ou não capacidade de implementação de lógicas programáveis.
- Podem ser distribuídas por bays (vãos) com interligação através de rede.

Unidade Terminal Remota

- Os cartões de E/S digitais podem possuir suporte a SOE permitindo também a sincronização através de IRIG-B.
- Cartões de saída digital muitas vezes dispõem de funcionalidade de *Check Before Operator*.

CLP: Controlador Lógico Progrmável

São dispositivos que também possuem:

- Uma ou mais UCP.
- Cartões de E/S digitais e analógicas.
- Canais de comunicação com diferentes protocolos.
- Sempre são programáveis com linguagens do tipo Ladder ou similar.

> Não é usual aos CLPs terem funções tipo SOE com resolução de milissegundos.
> Podem ser distribuídos por vãos, ligando-se através de uma rede de fibra ótica ou par metálico.

Exemplo de UTR/CLP

Todas as variáveis de monitoramento e controle são concentradas nas UTR.

A UTR coletava as grandezas analógicas de tensões, correntes e estados digitais da SE, analogicamente e provinha um canal de comunicação para supervisão e controle.

A quantidade de cabos de monitoramentos e controle era grande. A interface com os equipamentos de campo eram basicamente:

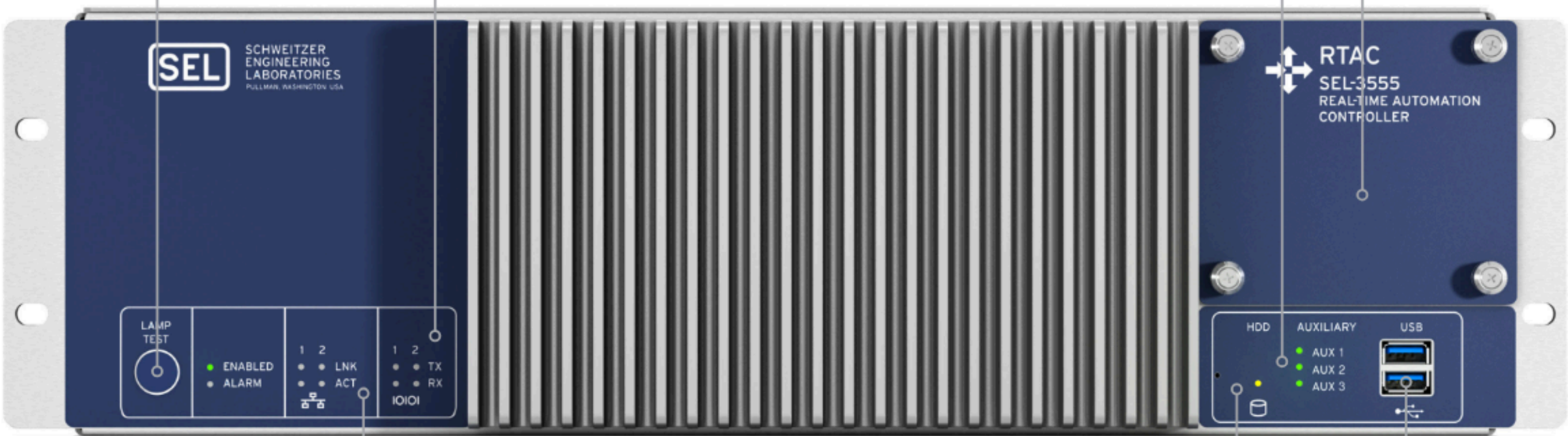
- Sinais de corrente e tensão AC
- Sinais de corrente 4 a 20 mA
- Entradas e saídas digitais

Concentrador de Dados

Convertem protocolos da camada de aplicação.

Os concentradores de dados possuem características semelhantes ao módulo CPU das RTU. Eles também são chamados de Gateways de comunicação.

> Sua principal função é coletar informações de outros equipamentos através de canais de comunicação.

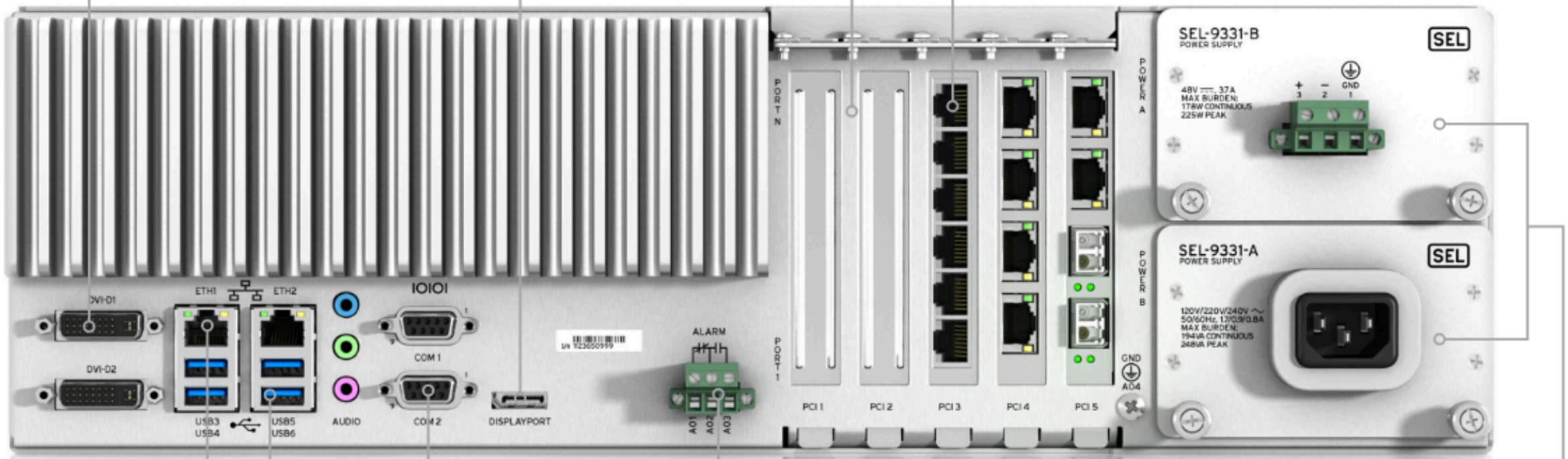

Botão para teste de lâmpada
LEDs de atividade da porta serial
LEDs Bicolores Programáveis
SSD com capacidade de armazenamento de até 480 GB
SEL
SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES
PULLMAN, WASHINGTON USA
LAMP TEST
ENABLED
ALARM
1 2
LNK
ACT
1 2
TX
RX
RTAC
SEL-3555
REAL-TIME AUTOMATION CONTROLLER
HDD
AUXILIARY
AUX 1
AUX 2
AUX 3
USB
LEDs de Atividade Ethernet
LED de atividade do SSD
2 Portas USB 3.1 no Painel Frontal

Slots de Expansão PCIe

Portas DVI-D

DisplayPort

6 Portas EIA-232/422/485



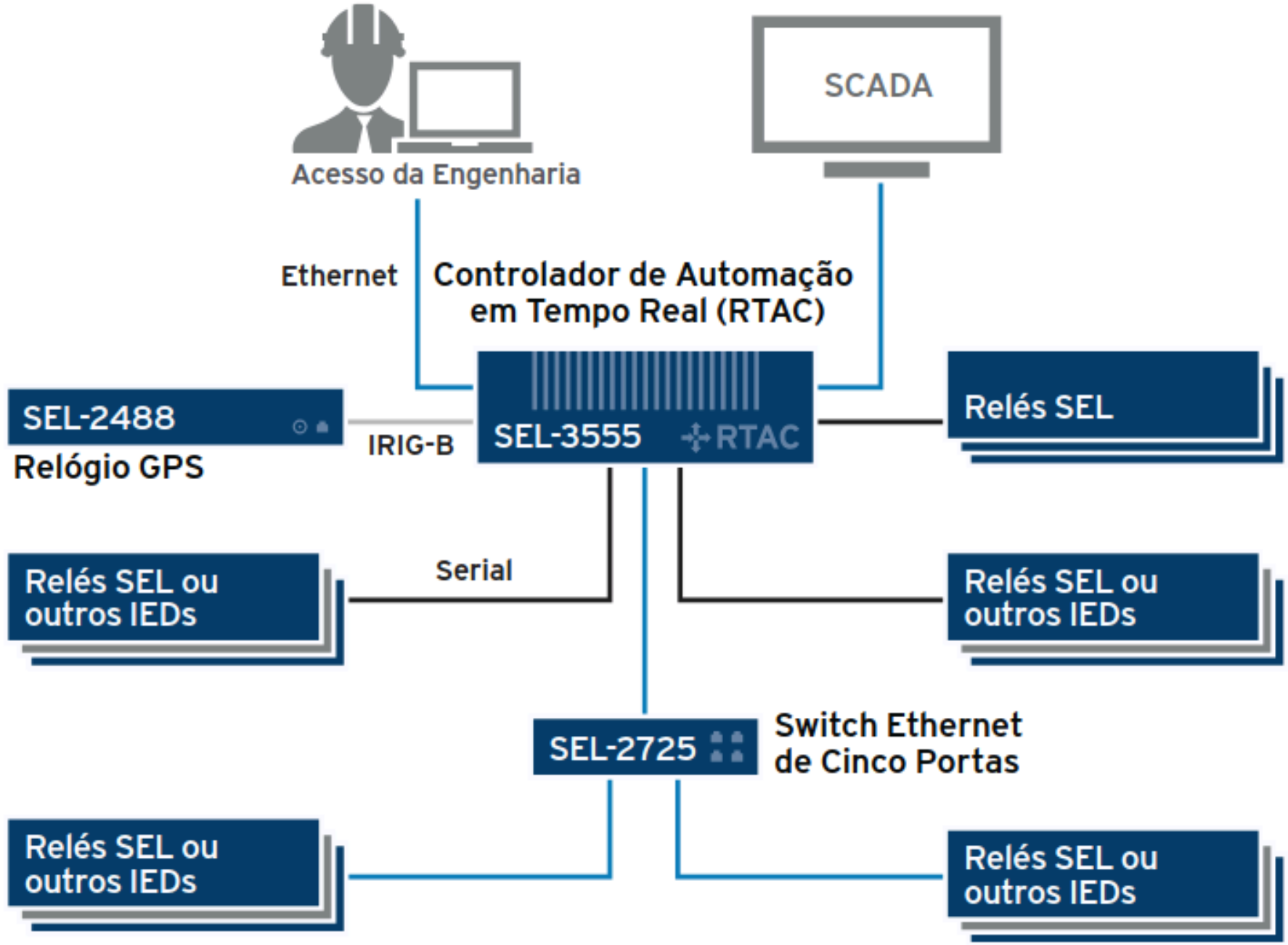
2 Portas Ethernet Gigabit de Alta Velocidade

4 Portas USB 3.1

2 Portas EIA-232 Integradas

Contato de saída de alarme Forma C

Duas fontes de alimentação de troca a quente (hot-swappable)


Acesso da Engenharia
SCADA
Ethernet
Controlador de Automação em Tempo Real (RTAC)
SEL-2488
Relógio GPS
IRIG-B
SEL-3555 RTAC
Relés SEL
Relés SEL ou outros IEDs
Serial
Relés SEL ou outros IEDs
SEL-2725
Switch Ethernet de Cinco Portas
Relés SEL ou outros IEDs
Relés SEL ou outros IEDs


Tela capacitiva colorida touchscreen de 7 polegadas, 800 × 480 com teclado em tela cheia
Botão para voltar a tela padrão inicial
Botões de pressão programáveis pelo operador para comandos de controle personalizados
Projeto robusto sem ventiladores ou peças móveis
SEL
SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES
AXION
SEL-2240
Home
2021/08/09 22:42:36
Custom Screens
Reports
Settings
Device Info
User Login
Rotating Display
Tap a folder or an application.
adm
ENABLED
LED 1
LED 2
LED 3
LED 4
LED 5
LED 6
LED 7
PB 1
PB 2
PB 3
PB 4
PB 5
PB 6
LEDs tricolores programáveis para alertas e informações de status
Ampla faixa de temperatura operacional de −40° a +85°C (−40° a +185°F)
Porta Ethernet frontal para configuração e manutenção

Atividade serial e LEDs programáveis pelo usuário

Portas EtherCAT para expansão do nó Axion, disponíveis em cobre ou fibra LC

Fonte de alimentação redundante opcional.

Módulo RTAC

Configuração personalizada de módulos I/O digitais e analógicos

Duas portas Ethernet independentes disponíveis em cobre ou fibra LC, com capacidade de operar em sub-redes separadas.

Terminais claramente numerados para fiação e teste

Quatro portas seriais, selecionáveis por software para EIA-232/EIA-485.

LEDs indicadores para cada entrada e saída

Concentrador de Dados

Com o advento dos **IEDs** os equipamentos de proteção passaram a assumir também tarefas de controle, automação e suoervisão.

A *UTR foi substituída por concentradores de dados ou gateways* de comunicação e toda interface analógica por canais de comunicação e protocolos específicos.

É possível concluir que hoje o alicerce da automação da subestação é a **comunicação** entre dispositivos.

Antes de apresentar os principais protocolo presentes nas subestações é importante conhecer alguns dos principais equipamentos utilizados.

Controlador de Automação Programável

- São equipamentos similares aos CLPs, porém estão destinados a uma automação distribuída.
- Possuem um número limitado de entradas e saídas digitais e analógicas pois são instalados próximos ao equipamento alvo da automação.
- Podem conter entradas RTD e interfaces analógicas para TCs e TPs.

Medidores de Faturamento

São equipamentos utilizados para medição precisa de grandezas analógicas como:

- Correntes e tensões
- Potências
- Energias
- Fator de Potência
- Frequência

> São ligados a **TCs de medição**.

Medidores de Qualidade de Energia

São equipamentos utilizados para medição precisa de grandezas analógicas como:

- Correntes e tensões
- Harmônicas
- Taxa de distorções harmômica
- Sag/Swell
- Curva de carga

Ligados a TCs de proteção.

Relés de Proteção Digital

- São dispositivos de proteção dedicados ou multifunção.
- Além da função primária de proteção pode também acumular funções de:
  - Controlador de Bay
  - Automatizador de processos
  - Medidor de variáveis analógicas

Relés de proteção devem sempre prover meios de sincronismo de seus relógios internos para geração de oscilografias e sequenciais de eventos precisos.

Alguns relés também são capazes de realizar medições de sincro-fasores.

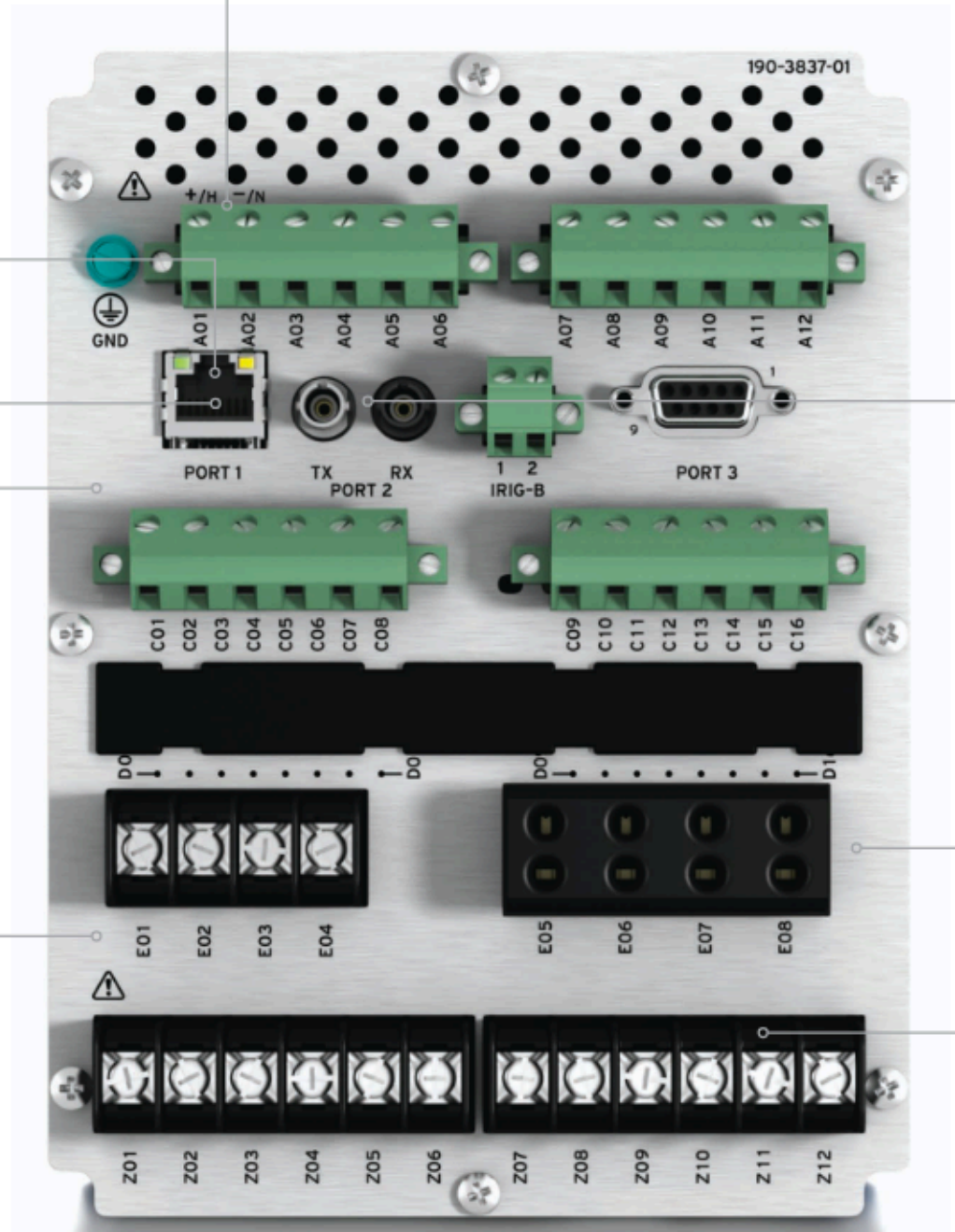

Tela de LCD 2×16
As mensagens padrão ou até 32 etiquetas de exibição personalizáveis notificam a equipe sobre os eventos do sistema de potência ou o status do relé.
SEL
SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES
SEL-751
FEEDER PROTECTION RELAY
SEL-751
FEEDER RELAY
TARGET RESET
ESC
ENT
ENABLED
TRIP
INST OC
PHASE OC
GND/NEU OC
NEG SEQ OC
O/U FREQ
BRKR FAIL
AUX 1
AUX 2
AUX 3
AUX 4
RECL RESET
RECL LOCKOUT
ENABLED
LOCK
DISABLED
BLOCK CLOSE
CLOSE
BREAKER CLOSED
TRIP
BREAKER OPEN
PORT F
Botões e etiquetas personalizáveis.
LEDs tricolores programáveis no painel frontal.
Dois LEDs tricolores programáveis por botão.

As opções de fontes de alimentação incluem 110-250 Vcc/110-240 Vca ou 24-48 Vcc.

Uma ampla variedade de protocolos de comunicação e meios de comunicação proporcionam flexibilidade para a comunicação com outros dispositivos e sistemas de controle.

Acelere as transferências de firmware via porta Ethernet.

Os slots de cartão incluem posições para I/O opcional.



Porta de fibra óptica opcional.

Slot de cartão para cartões opcionais 8 AFD, Vsync/Vbat/4 AFD ou Vsync/ Vbat/7 DI.

Entradas convencionais para TC e TP.

Intelligent Electronic Devices (IEDs)

The industry standard definition of an IED is:

Any device incorporating one or more processors with the capability to receive or send data/control from or to an external source (e.g., electronic multifunction meters, digital relays, and controllers).

IEDs have been deployed extensively in power automation systems recently, and the shift from RTUs to IEDs is evident due to the integration and interoperability features of the IEDs.

Evolution of IEDs

IEDs were **introduced in the early 1980s** with microprocessor-based control features.

The deployment of IEDs is revolutionizing the protection, substation and distribution automation.

The protection relay migrated **from single-function conventional electromechanical** types **to multi-function microprocessor-based relays**.

Considerable **savings were achieved in relay panel and switchgear costs** by the adoption of the multi-function microprocessor-based relays.

Figure 7.9: Space requirements of different relay technologies for same functionality

Evolution of IEDs

IED revolution started when **other functionalities** like accurate voltage and current phasor measurement, waveform capture, and metering were being incorporated into the relays.

The growth in:

- Communication infrastructure,
- Standardization of protocols, and
- Interoperability

Were major factors that led to the IED explosion. **IEDs are now the eyes, ears, and hands of the automation systems in a power utility**.

Evolution of IEDs

These savings can be summarized in the following categories:

1. Lower installation and panel assembly cost
2. Shorter commissioning and maintenance times
3. Shorter system recovery time after a disturbance
4. Less revenue loss due to wrong settings and IED malfunction
5. Higher system reliability due to automation, integration, and adaptive settings
6. Smaller control houses

IED functional block diagram

The modern IED architecture ensures that the device is:

- multipurpose,
- modular in nature,
- flexible and adaptable, and
- has robust communication capabilities.

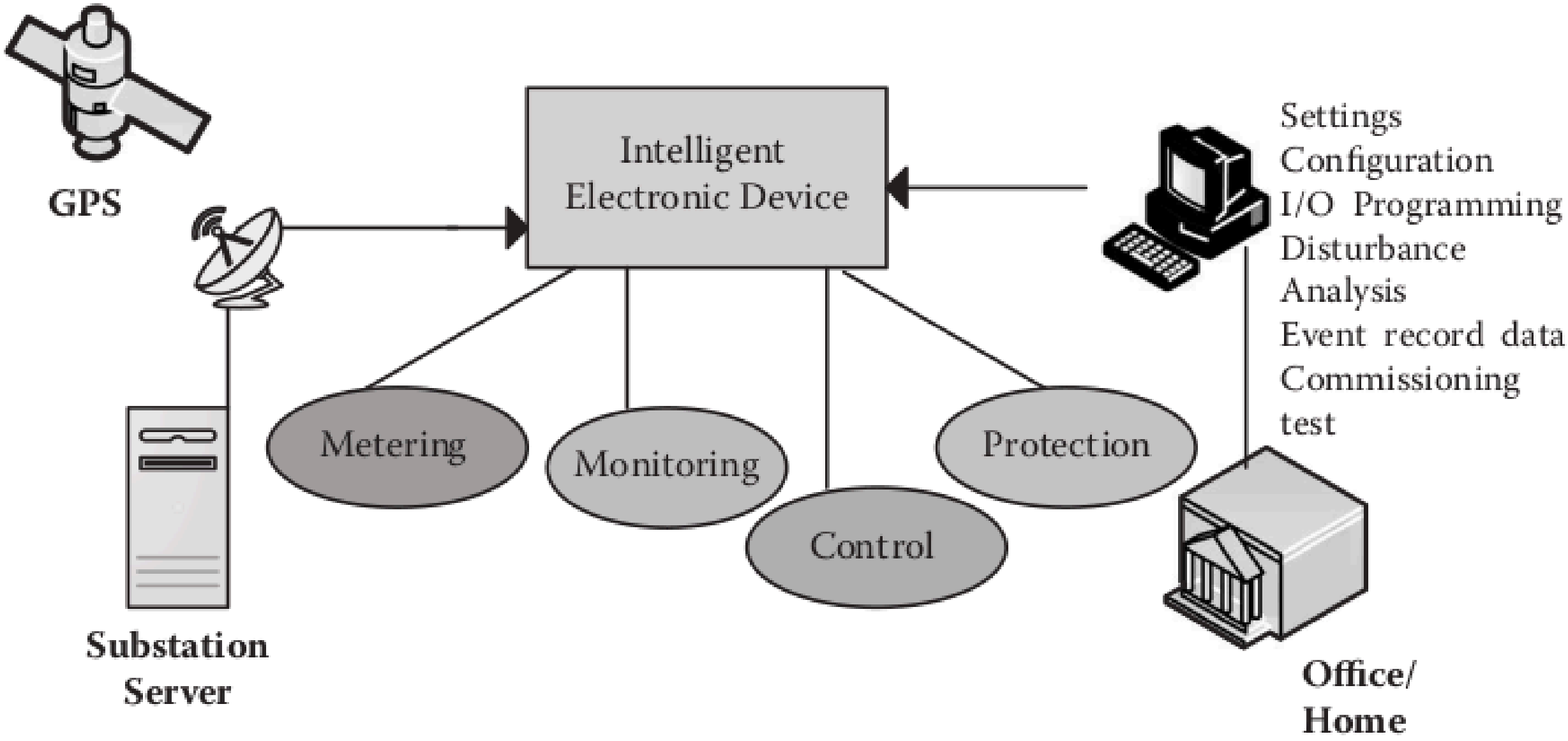
Communication capabilities include multiple selectable protocols, multi-drop facilities with multiple ports, and rapid response for real-time data.

IED functional block diagram

IEDs also have tremendous data-processing capability for a variety of functions, for various applications like protection and metering.

IEDs have event recording capability that can be very useful for post-event analysis, for fault waveform recording, and for power quality measurements.

IEDs can also accept and send out analog and digital signals with selectable ratings, thus making the IEDs versatile.

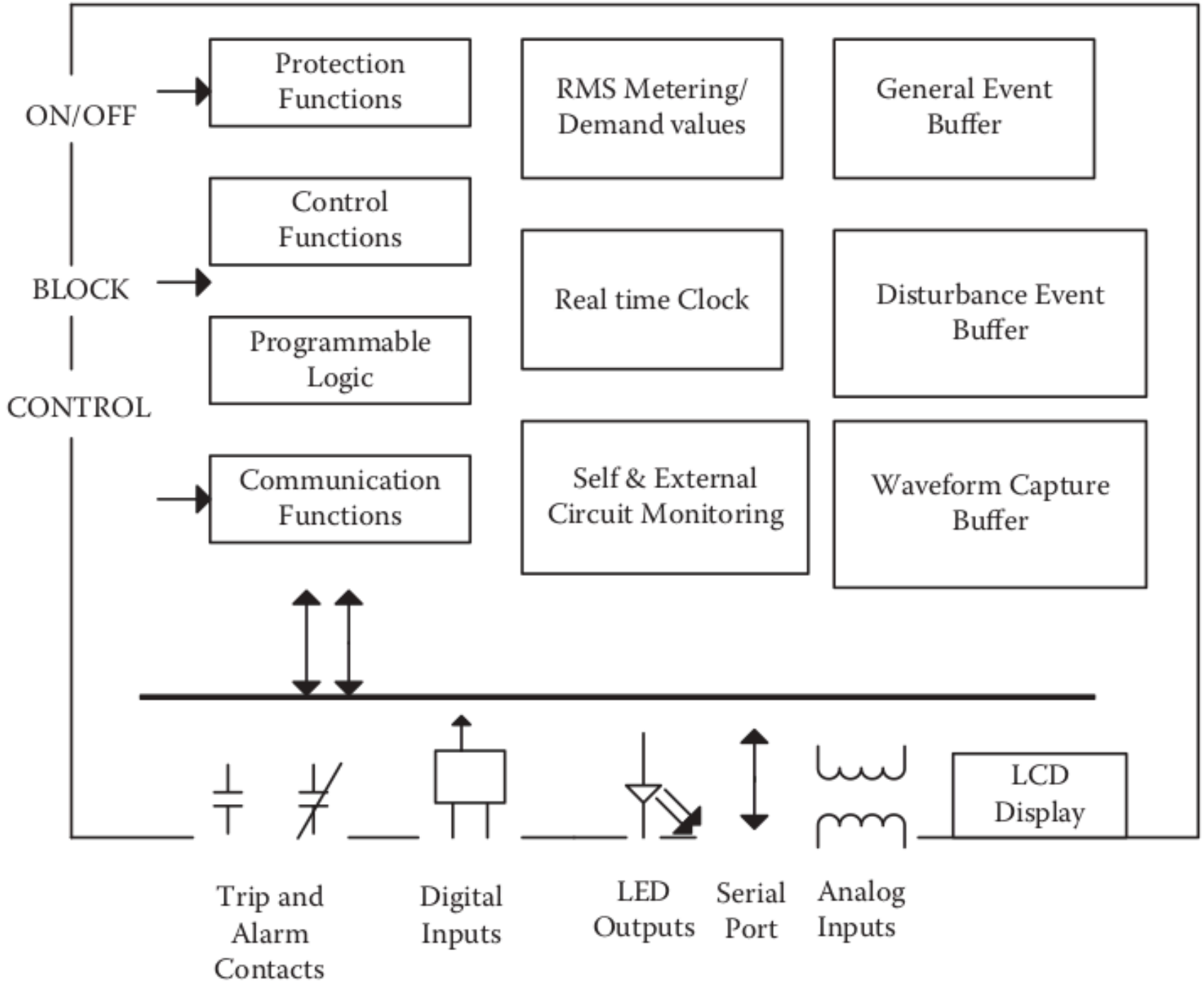

GPS
Intelligent
Electronic Device
Settings
Configuration
I/O Programming
Disturbance
Analysis
Event record data
Commissioning
test
Metering
Monitoring
Control
Protection
Substation
Server
Office/
Home

2.5.3 Hardware and software architecture of the IED

The hardware of IED should be designed with the future adaptability requirement in mind, whereas the software structure should ensure the independent:

- protection,
- control,
- metering, and
- communication functions.

> IED hardware design utilizes draw out–type cards which is a great advantage, as the replacement can be done easily without disconnecting the terminal wires and removing the IED from the panel.


ON/OFF
BLOCK
CONTROL
Protection Functions
Control Functions
Programmable Logic
Communication Functions
RMS Metering/ Demand values
Real time Clock
Self & External Circuit Monitoring
General Event Buffer
Disturbance Event Buffer
Waveform Capture Buffer
LCD Display
Trip and Alarm Contacts
Digital Inputs
LED Outputs
Serial Port
Analog Inputs

2.5.3 Hardware and software architecture of the IED

IED has the capability of **waveform capture and disturbance analysis capability**.

Metering and demand values recording are other features.

IED has the capability of programmable logics that eliminates an additional PLC usage.

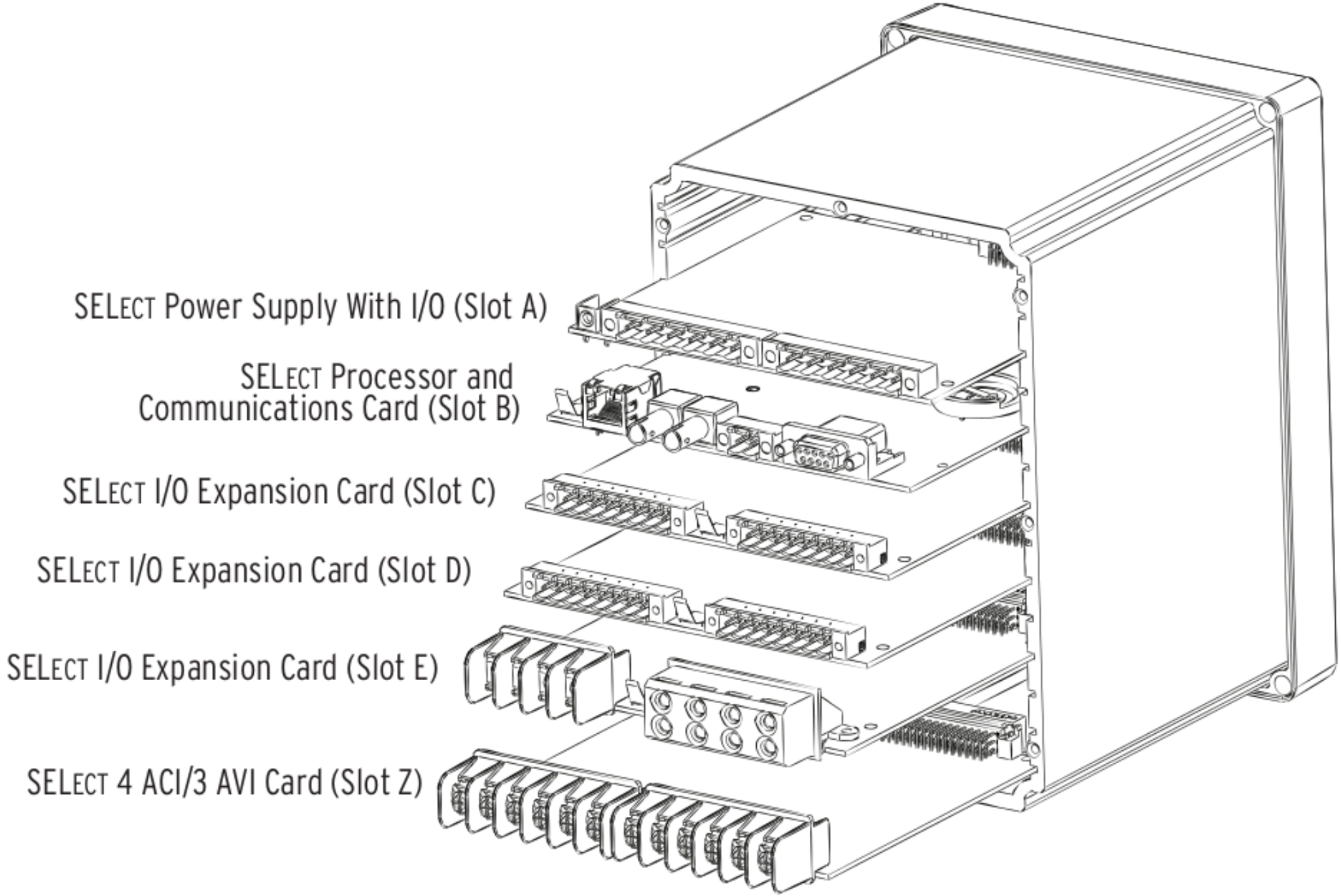

SELECT Power Supply With I/O (Slot A)
SELECT Processor and Communications Card (Slot B)
SELECT I/O Expansion Card (Slot C)
SELECT I/O Expansion Card (Slot D)
SELECT I/O Expansion Card (Slot E)
SELECT 4 ACI/3 AVI Card (Slot Z)

Table 2.1 Power Supply Card Inputs Terminal Designation

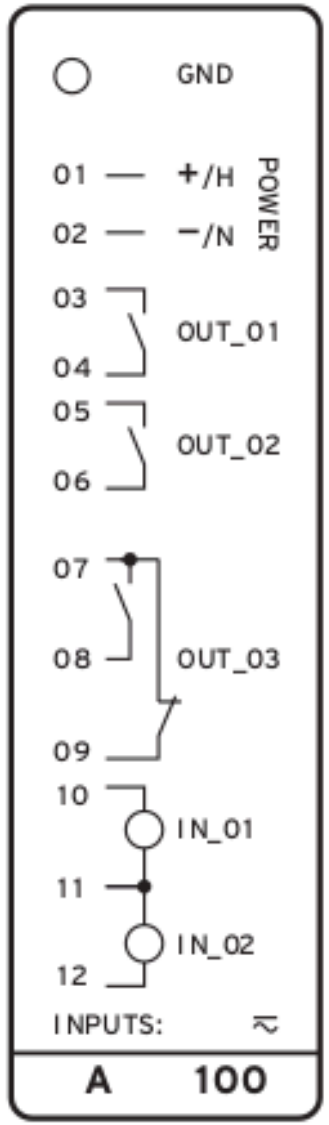
Side-Panel Connections Label	Terminal Number	Description
		Ground connection
	A01, A02	Power supply input terminals
	A03, A04	OUT101, driven by OUT101 SELOGIC control equation
	A05, A06	OUT102, driven by OUT102 SELOGIC control equation
	A07, A08, A09	OUT103, driven by OUT103 SELOGIC control equation
	A10, A11	IN101, drives IN101 element
	A12, A11	IN102, drives IN102 element

Table 2.4 4 ACI/3 AVI Current/Voltage Card Inputs Terminal Designation

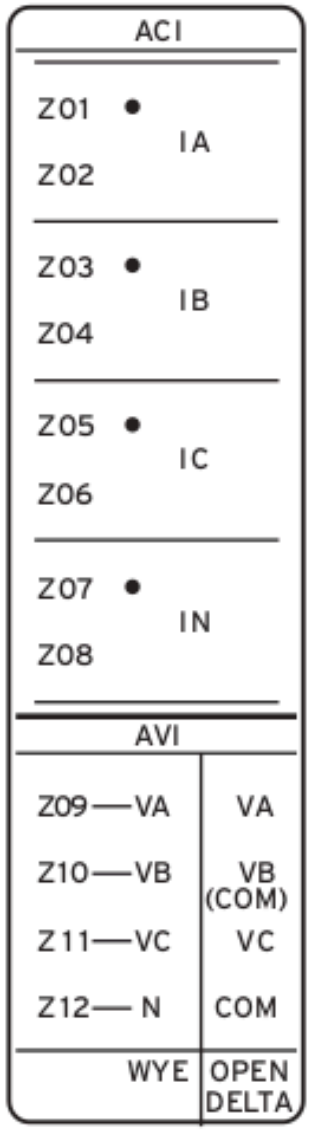
Side-Panel Connections Label	Terminal Number	Description
	Z01	IA, Phase A current input
	Z02	
	Z03	IB, Phase B current input
	Z04	
	Z05	IC, Phase C current input
	Z06	
	Z07	IN, Neutral current input
	Z08	
	Z09	VA, Phase A voltage input
	Z10	VB, Phase B voltage input
	Z11	VC, Phase C voltage input
	Z12	N, common connection for VA, VB, VC

Table 2.6 Eight Analog Input (8 AI) Card Terminal Allocation

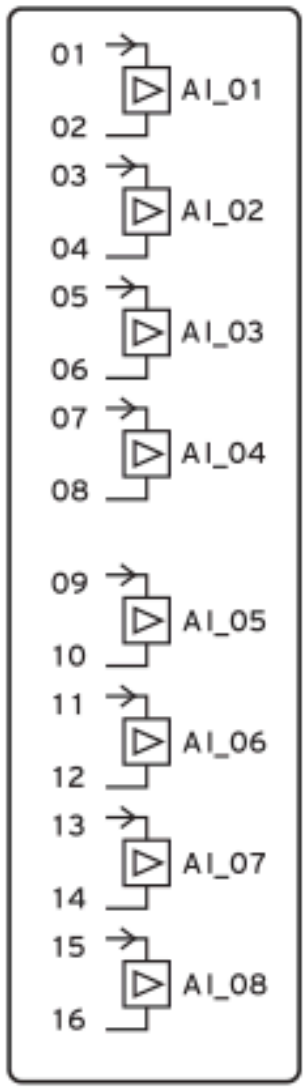
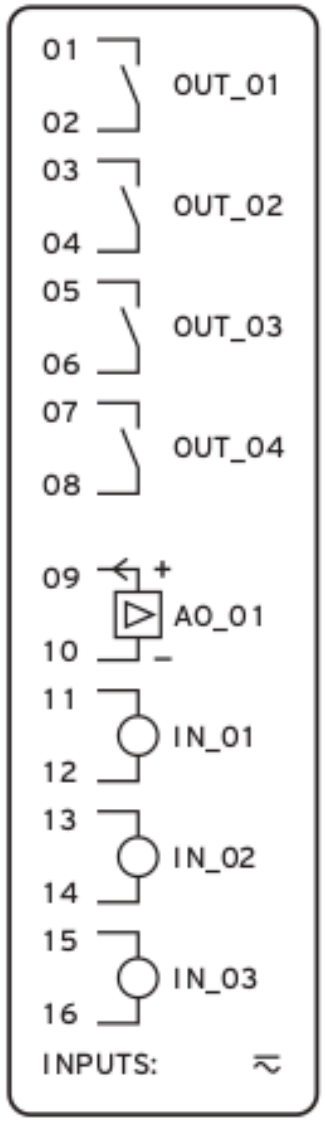
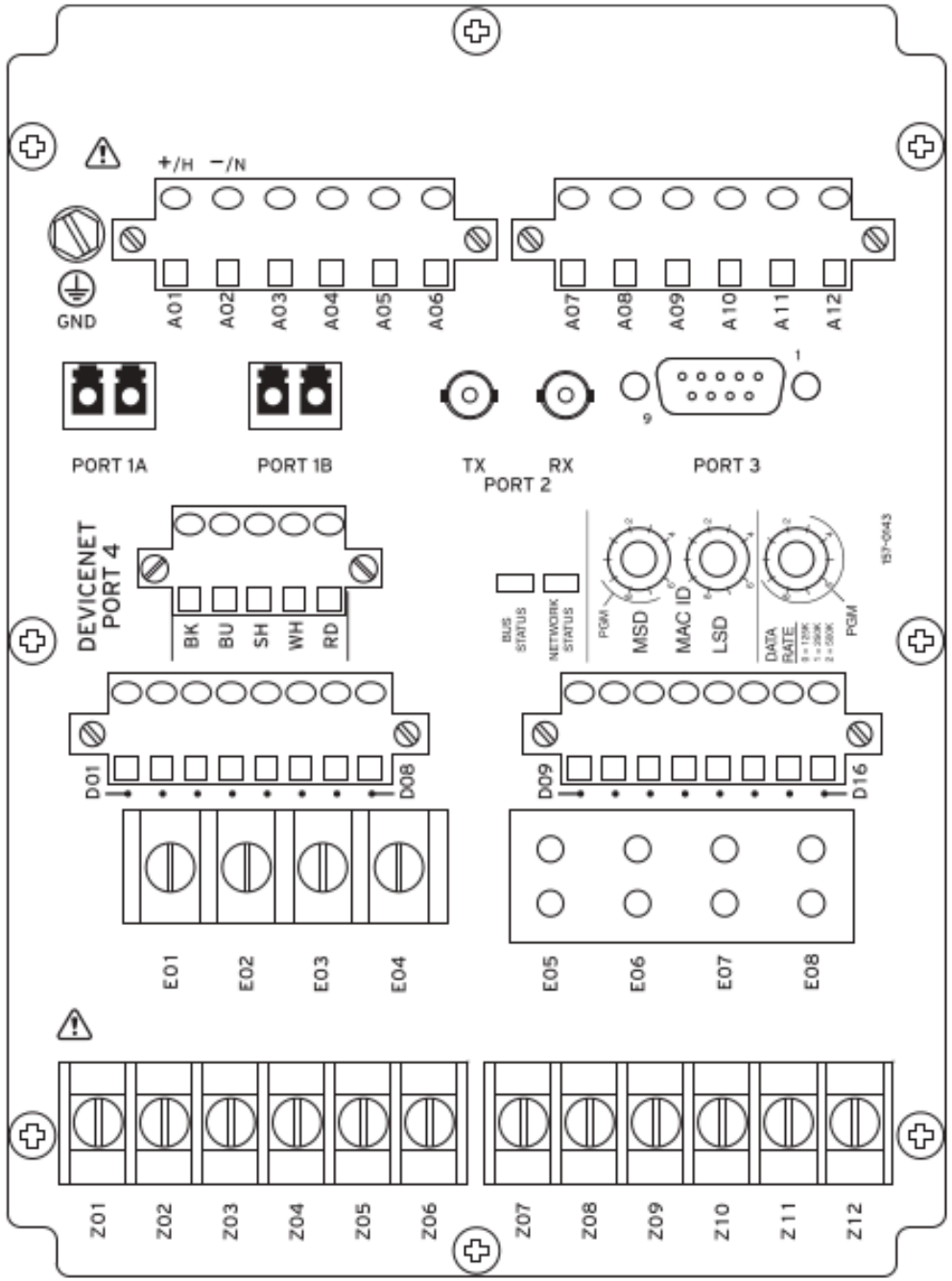
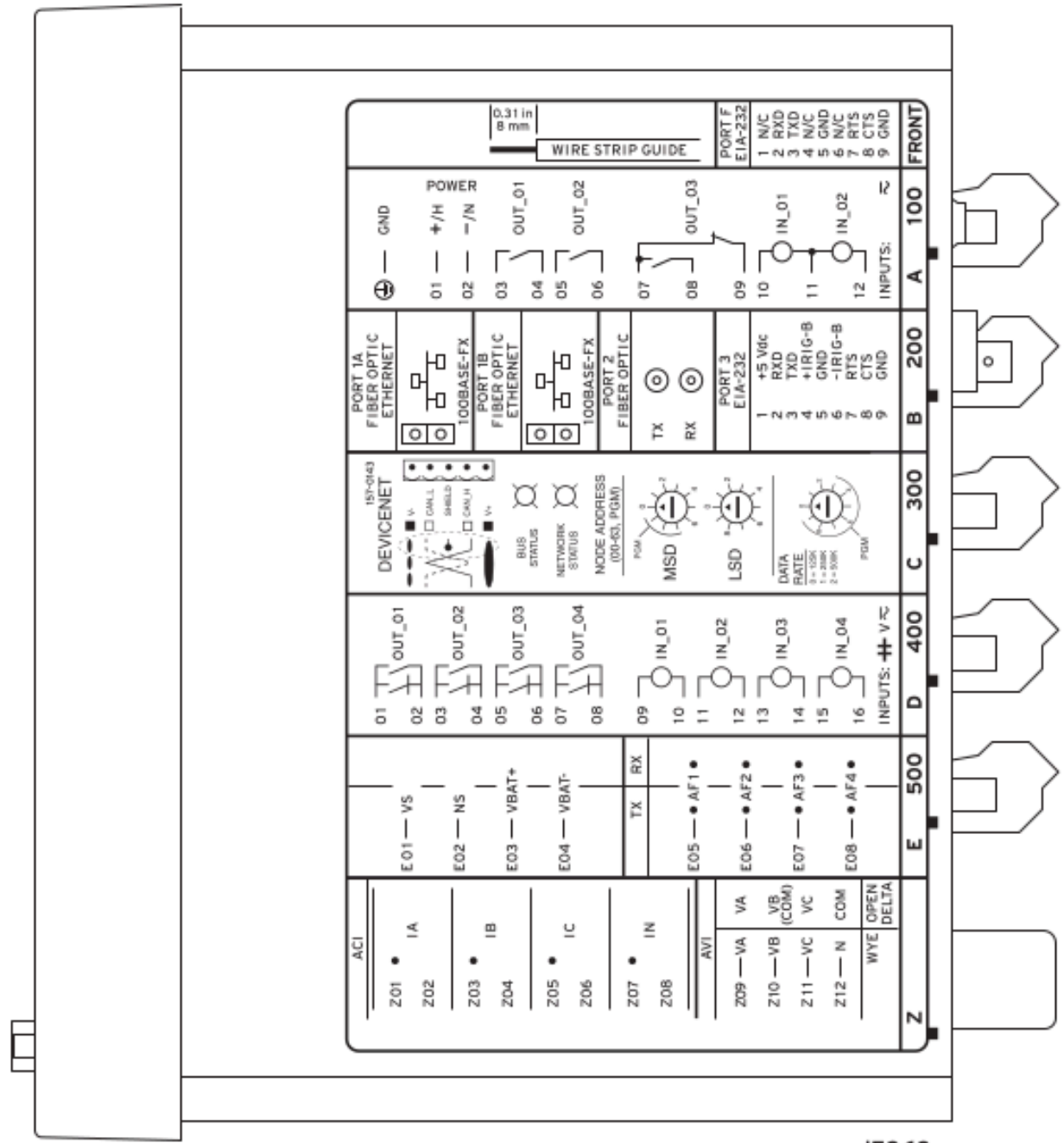
Side-Panel Connections Label	Terminal Number	Description[1]
	01, 02	AI*x*01, Transducer Input number *x*01
	03, 04	AI*x*02, Transducer Input number *x*02
	05, 06	AI*x*03, Transducer Input number *x*03
	07, 08	AI*x*04, Transducer Input number *x*04
	09, 10	AI*x*05, Transducer Input number *x*05
	11, 12	AI*x*06, Transducer Input number *x*06
	13, 14	AI*x*07, Transducer Input number *x*07
	15, 16	AI*x*08, Transducer Input number *x*08

Table 2.8 I/O (3 DI/4 DO/1 AO) Card Terminal Allocation

Side-Panel Connections Label	Terminal Number	Description[1]
	01, 02	OUT*x*01, driven by OUT*x*01 SELOGIC control equation
	03, 04	OUT*x*02, driven by OUT*x*02 SELOGIC control equation
	05, 06	OUT*x*03, driven by OUT*x*03 SELOGIC control equation
	07, 08	OUT*x*04, driven by OUT*x*04 SELOGIC control equation
	09, 10	AO*x*01, Analog Output Number 1
	11, 12	IN*x*01, Drives IN*x*01 element
	13, 14	IN*x*02, Drives IN*x*02 element
	15, 16	IN*x*03, Drives IN*x*03 element

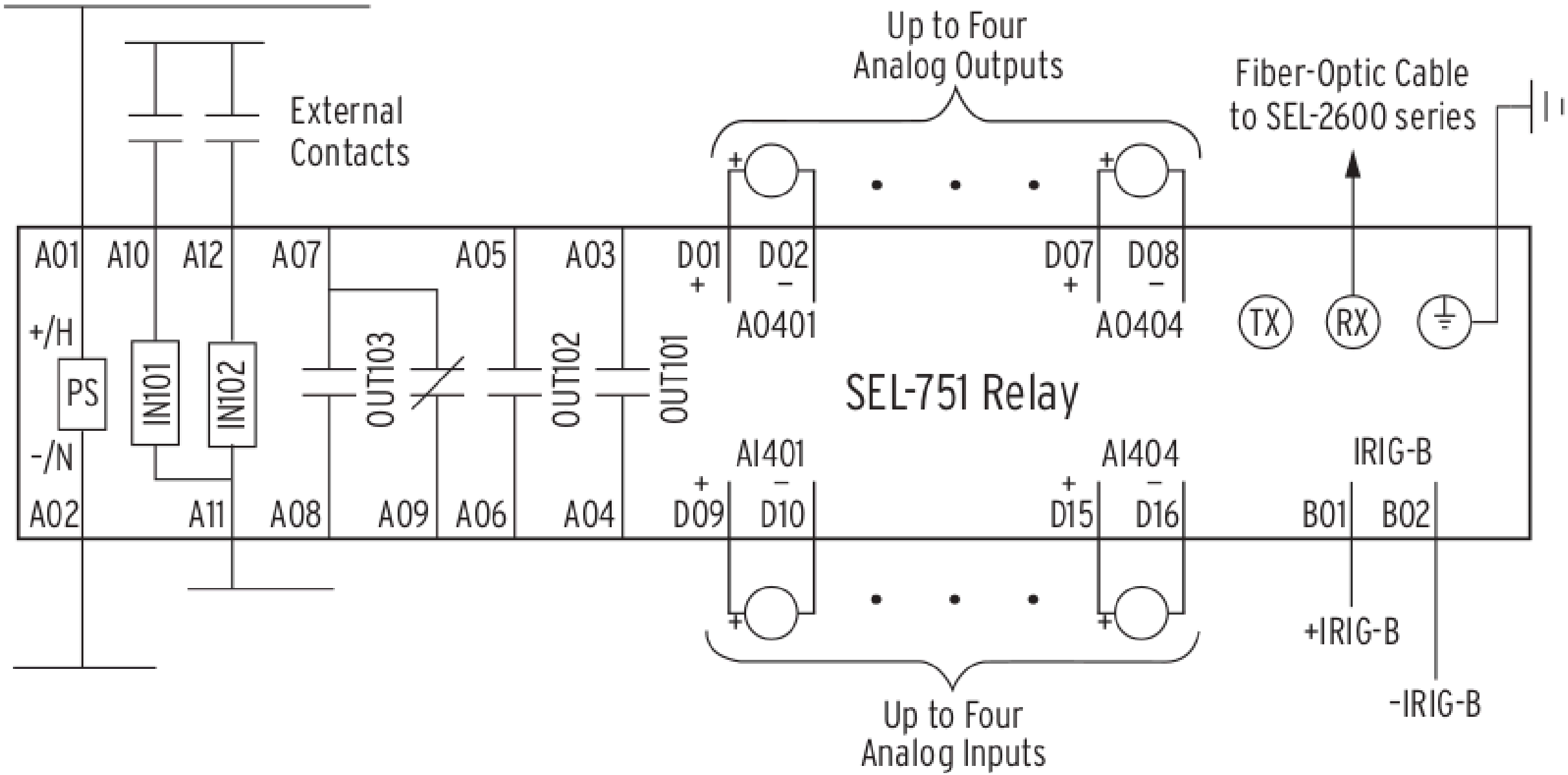


i5364a



i5363c

‡ SEE DOCUMENTATION FOR INPUT VOLTAGE RATING


External Contacts
Up to Four Analog Outputs
Fiber-Optic Cable to SEL-2600 series
A01
A10
A12
A07
A05
A03
D01
D02
D07
D08
+/H
PS
IN101
IN102
OUT103
OUT102
OUT101
A0401
A0404
TX
RX
SEL-751 Relay
-/N
AI401
AI404
IRIG-B
A02
A11
A08
A09
A06
A04
D09
D10
D15
D16
B01
B02
+IRIG-B
-IRIG-B
Up to Four Analog Inputs

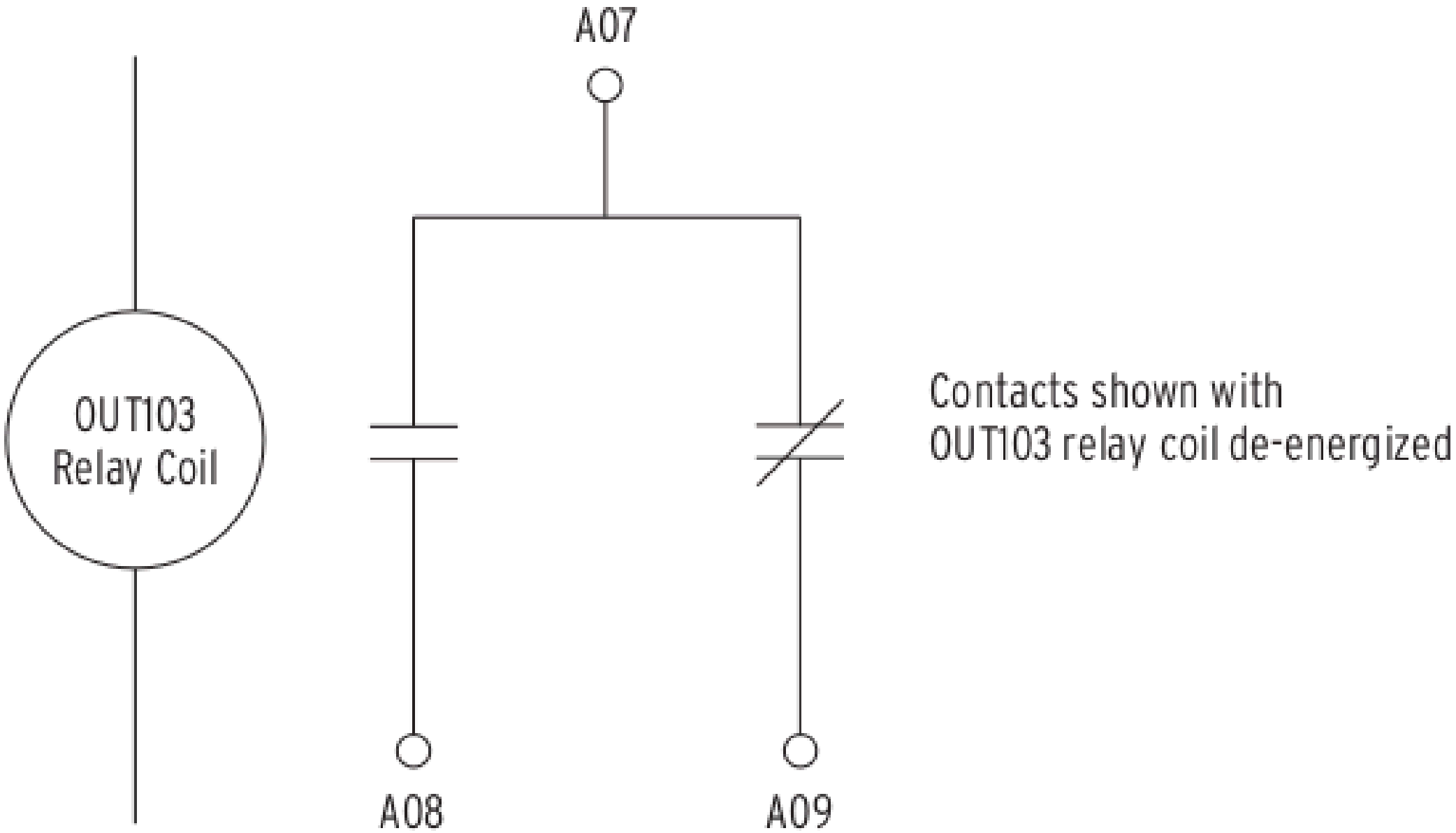


Figure 2.14 Output OUT103 Relay Output Contact Configuration

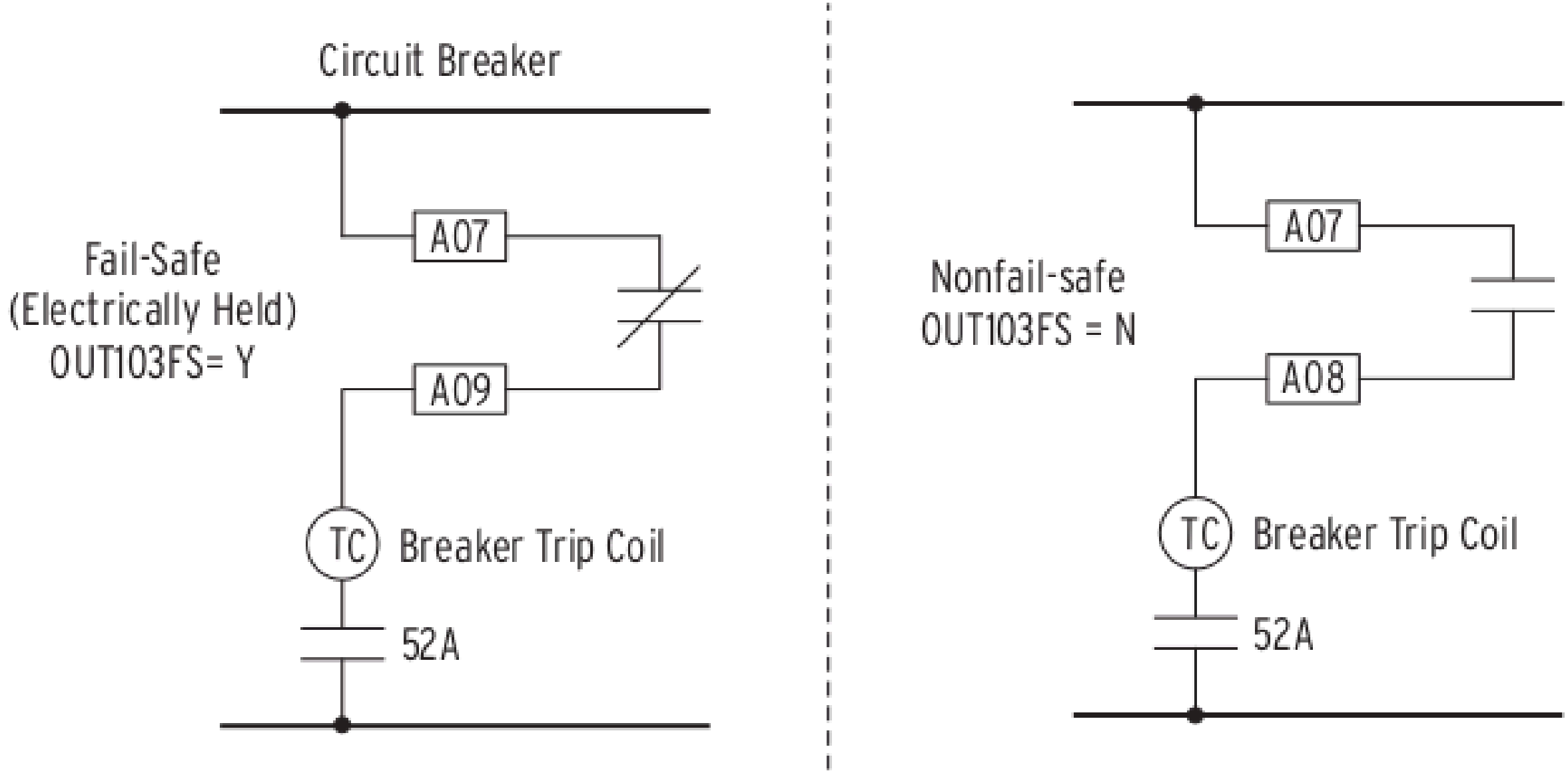
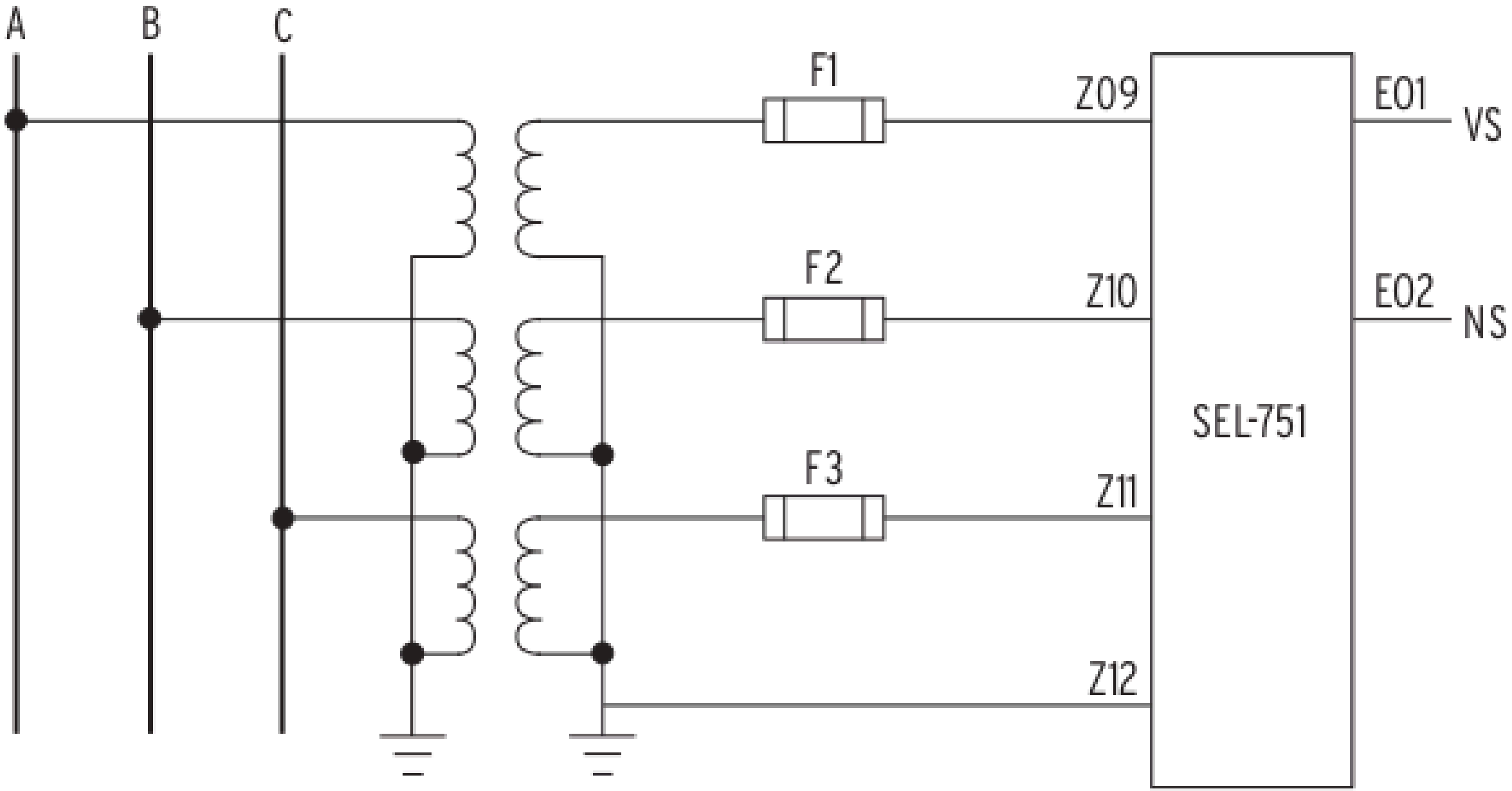
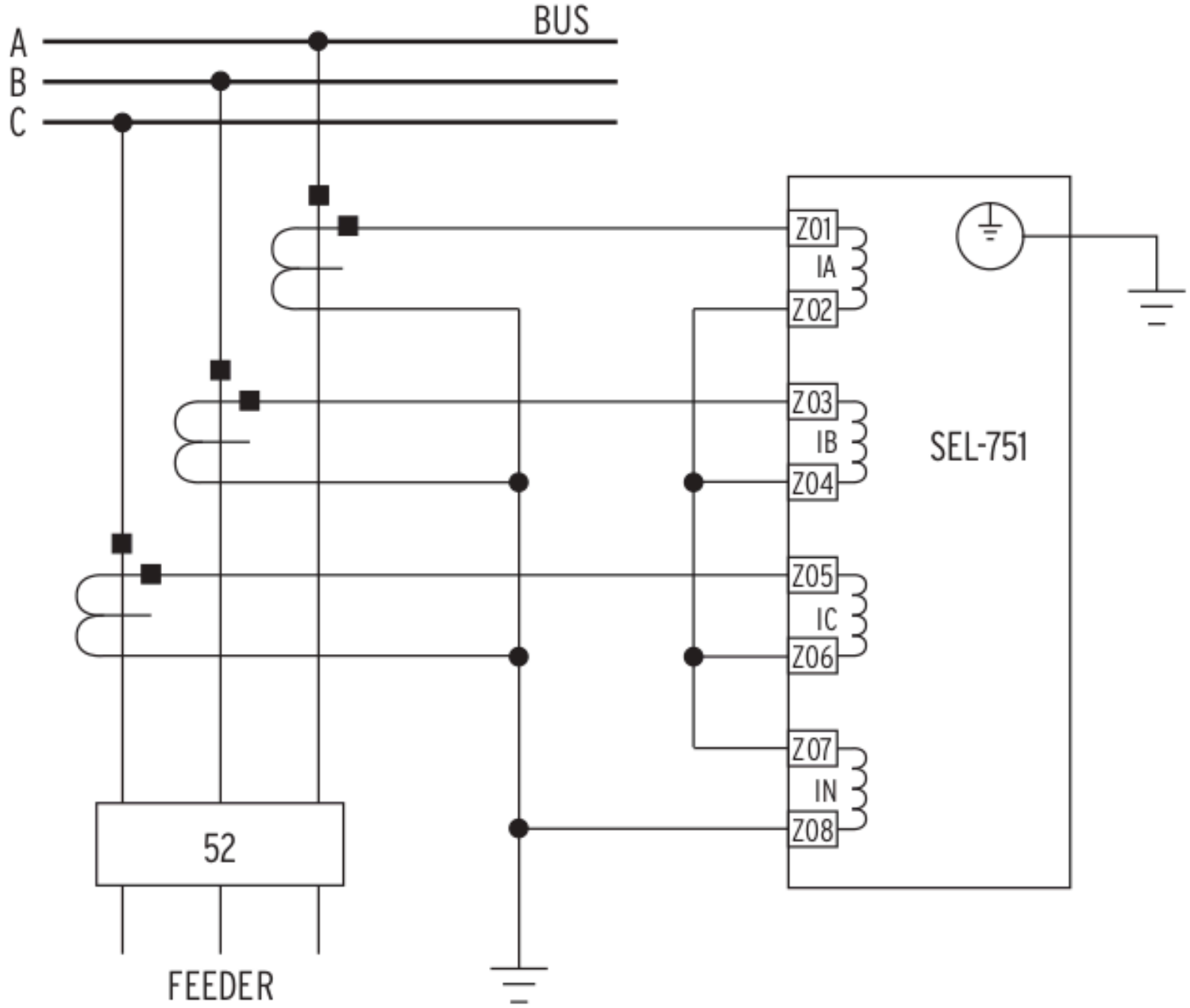


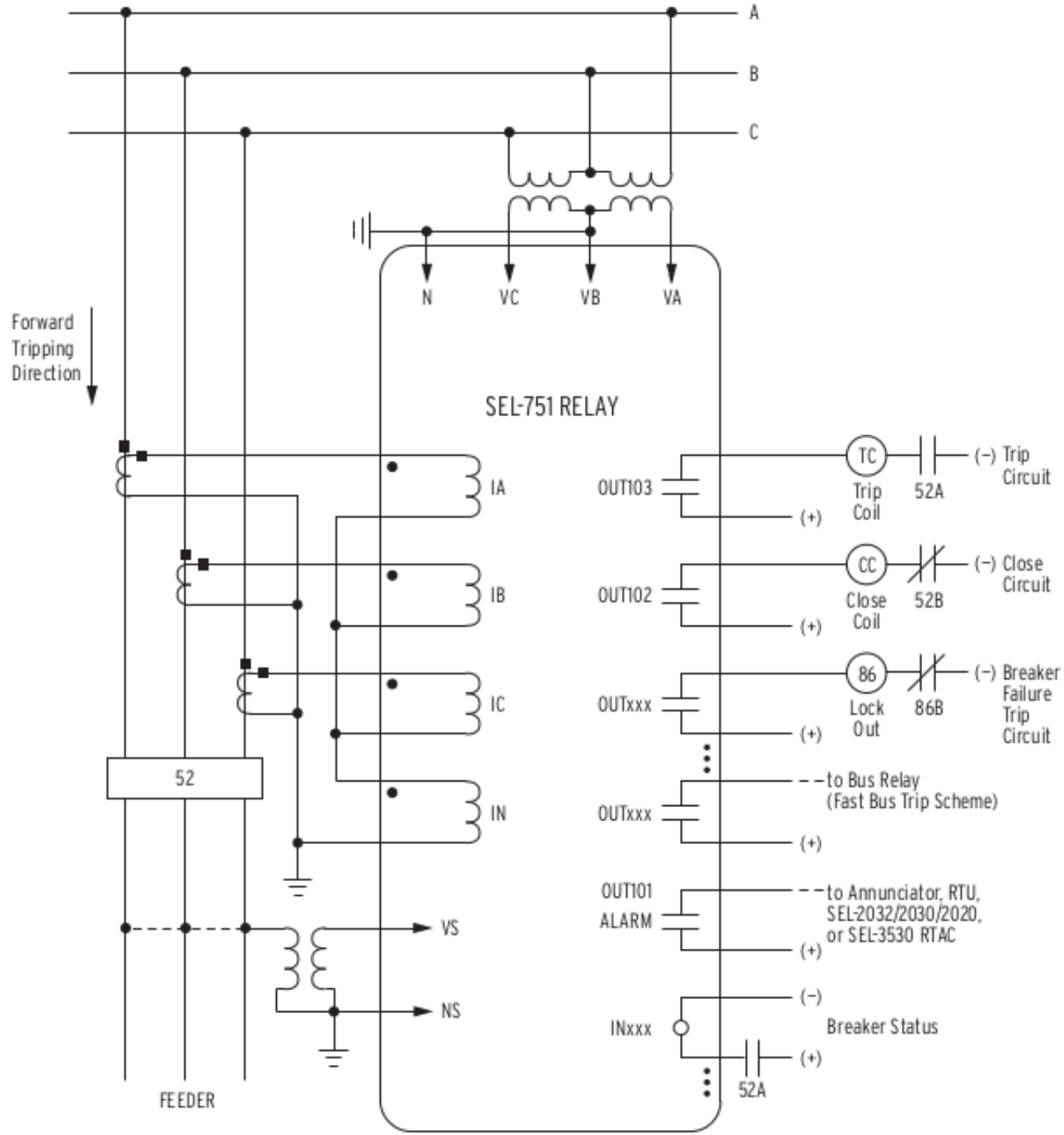
Figure 2.15 OUT103 Contact Fail-Safe and Nonfail-Safe Options

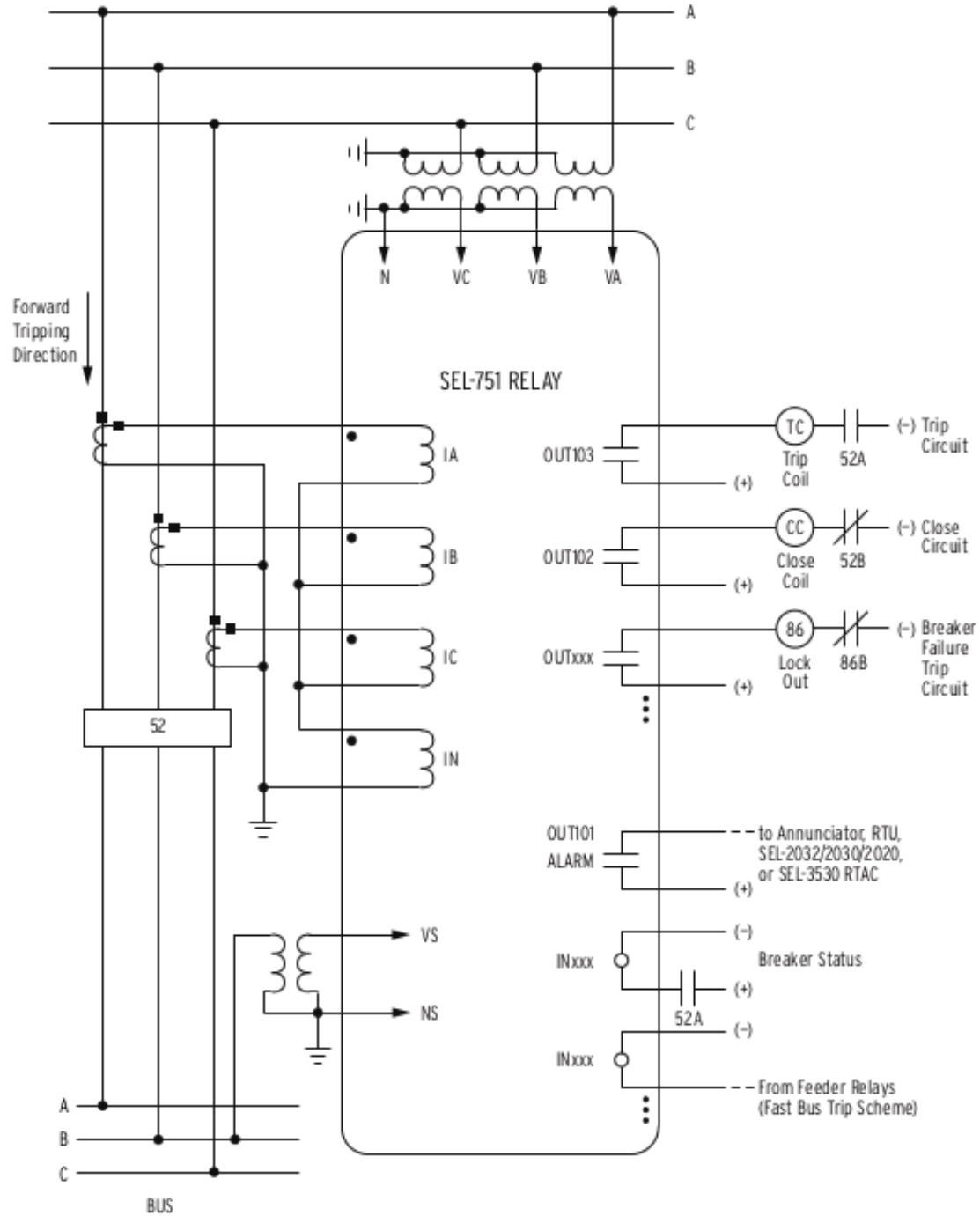
Wye-Wye VT Connection





The current transformers and the SEL-751 chassis must be grounded in the relay cabinet.


A
B
C
N
VC
VB
VA
Forward
Tripping
Direction
SEL-751 RELAY
IA
IB
IC
IN
52
VS
NS
FEEDER
OUT103
(+)
TC
Trip
Coil
52A
(–) Trip
Circuit
OUT102
(+)
CC
Close
Coil
52B
(–) Close
Circuit
OUTxxx
(+)
86
Lock
Out
86B
(–) Breaker
Failure
Trip
Circuit
OUTxxx
(+)
to Bus Relay
(Fast Bus Trip Scheme)
OUT101
ALARM
(+)
to Annunciator, RTU,
SEL-2032/2030/2020,
or SEL-3530 RTAC
INxxx
(–)
Breaker Status
(+)
52A


A
B
C
N
VC
VB
VA
Forward
Tripping
Direction
SEL-751 RELAY
IA
IB
IC
IN
52
VS
NS
A
B
C
BUS
OUT103
(+)
TC
Trip
Coil
52A
(–) Trip
Circuit
OUT102
(+)
CC
Close
Coil
52B
(–) Close
Circuit
OUTxxx
(+)
86
Lock
Out
86B
(–) Breaker
Failure
Trip
Circuit
OUT101
ALARM
(+)
to Annunciator, RTU,
SEL-2032/2030/2020,
or SEL-3530 RTAC
INxxx
(–)
(+)
52A
Breaker Status
INxxx
(–)
From Feeder Relays
(Fast Bus Trip Scheme)


GND
PORT 1
PORT 2
PORT 3

IED communication subsystem

The IED should support:

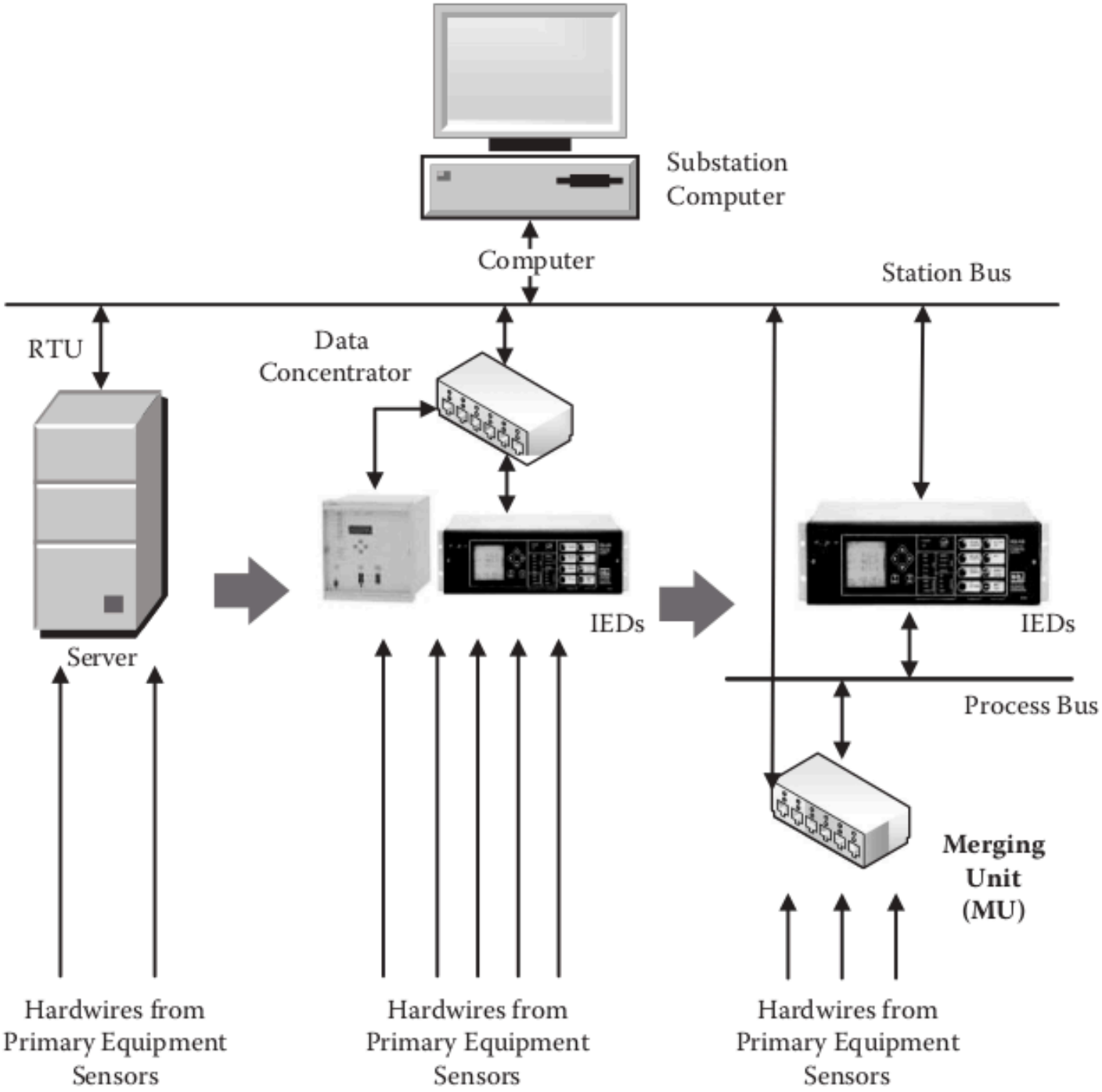
- Different protocols for multi-port communication and different media
- Should have flexible and open communication architecture,
- HMI interface,
- Remote access port, and
- Direct communication to other IEDs for protection purposes.

2.5.3 Hardware and software architecture of the IED

The IEDs have plug-and-play communication modules that can support a variety of protocols.

The advantage of these modules is that they can be replaced in the field in case of a change in communication requirement.

The IEDs use the communication port and optical port for fiber optical communication or electrical port (RS-232 or RS-485) and will also have service port for remote access via a modem.



Merging units and IEDs