



Proteção de Geradores Curto Circuitos

Paulo Lima
Engenharia de Aplicação e Suporte Técnico



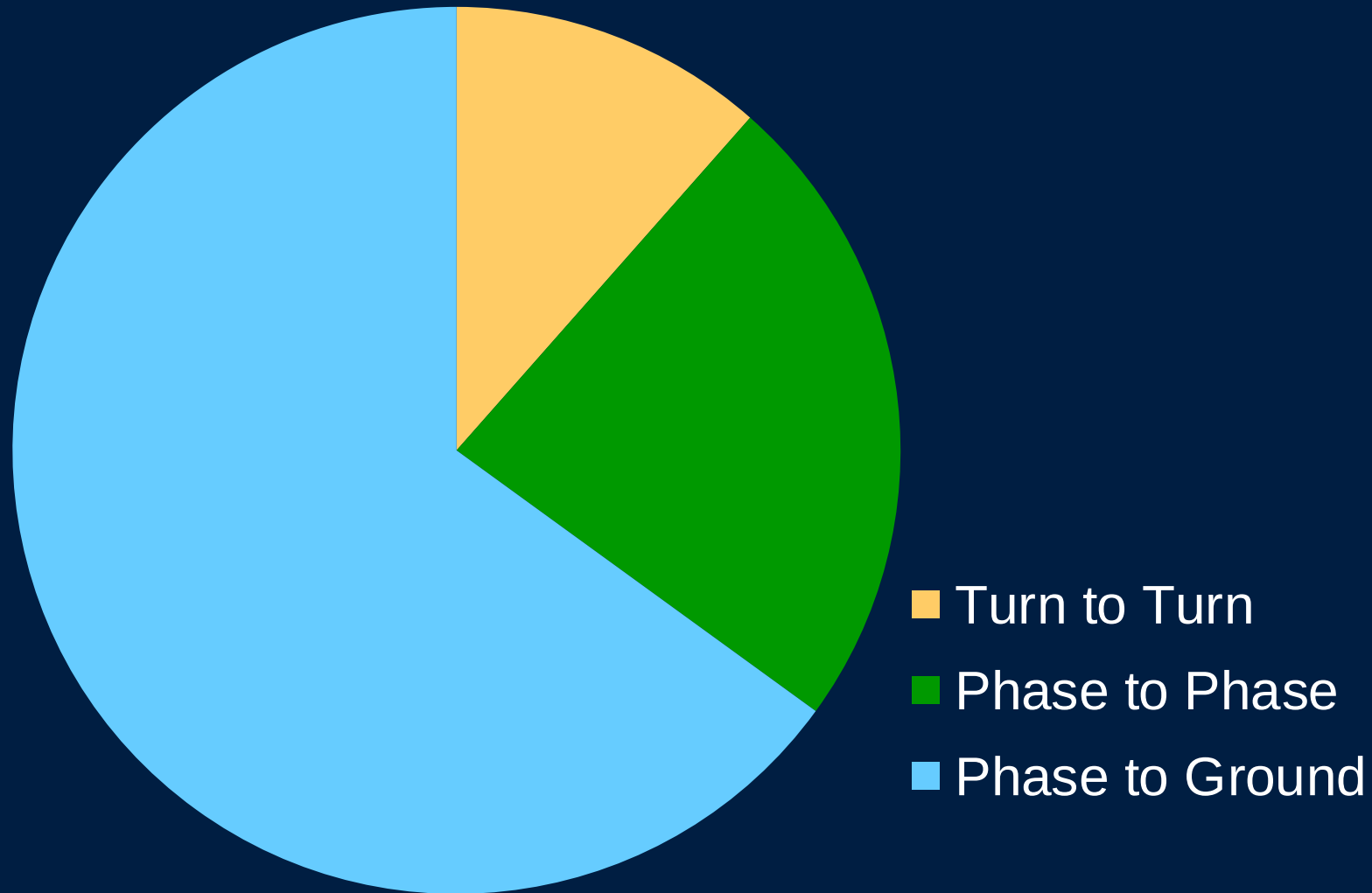
Tipos de Falta no Gerador

- Curto-circuitos no estator
- Curto-circuitos no circuito de campo
- Operação anormal
 - ♦ Faltas externas
 - ♦ Perda de excitação
 - ♦ Desequilíbrio de fases
 - ♦ Motorização
 - ♦ Sub/sobre excitação
 - ♦ Perda de sincronismo

Sumário

- Introdução
- Faltas no estator
 - Faltas entre fases
 - Faltas entre espiras
 - Faltas à terra
- Falta no circuito de campo
 - Falta à terra
 - Falta entre espiras

Faltas no Estator do Gerador

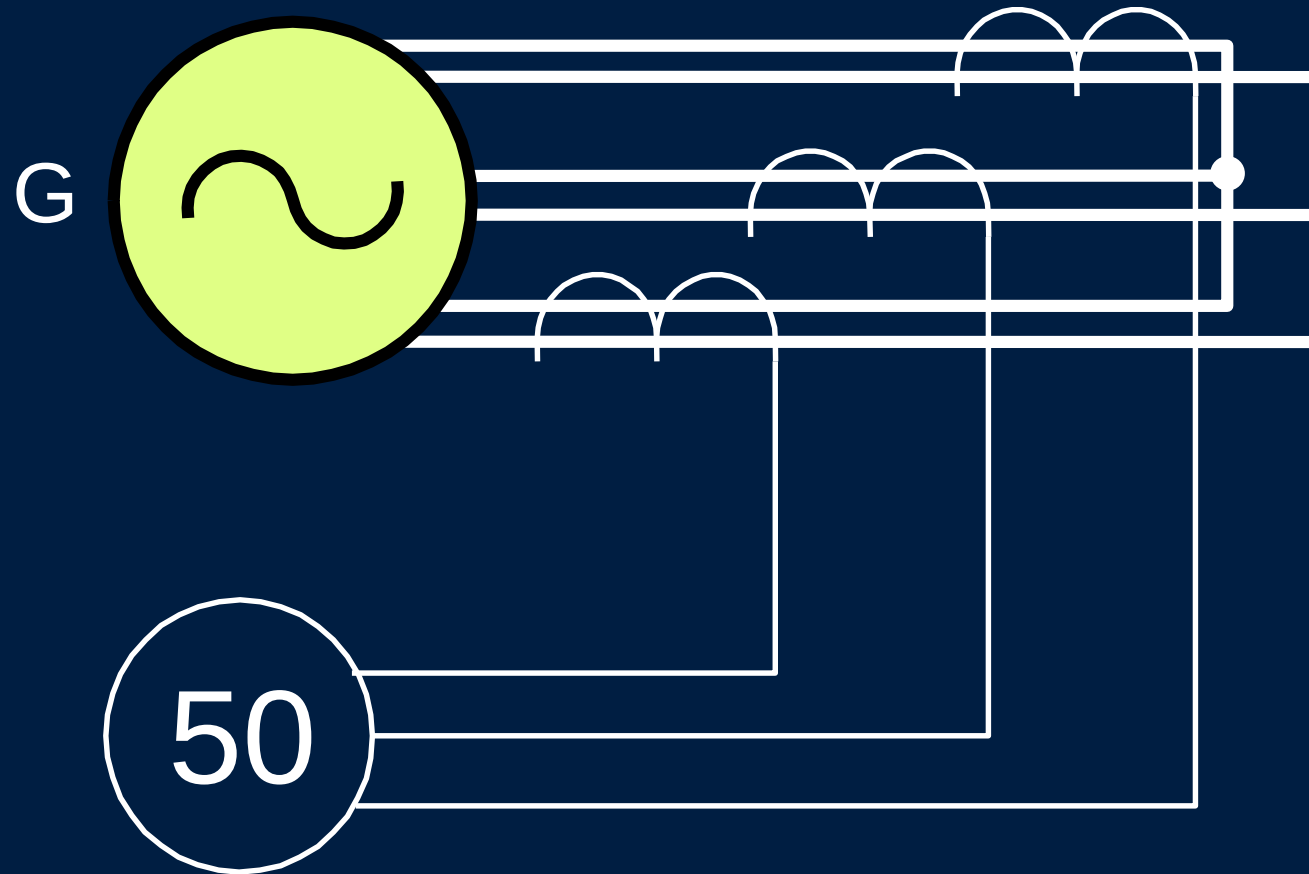


Faltas Entre Fases

- Diferencial auto-balanceado
 - ♦ Geradores de pequeno porte
 - ♦ Solução econômica
- Diferencial percentual
 - ♦ Geradores de médio e grande porte

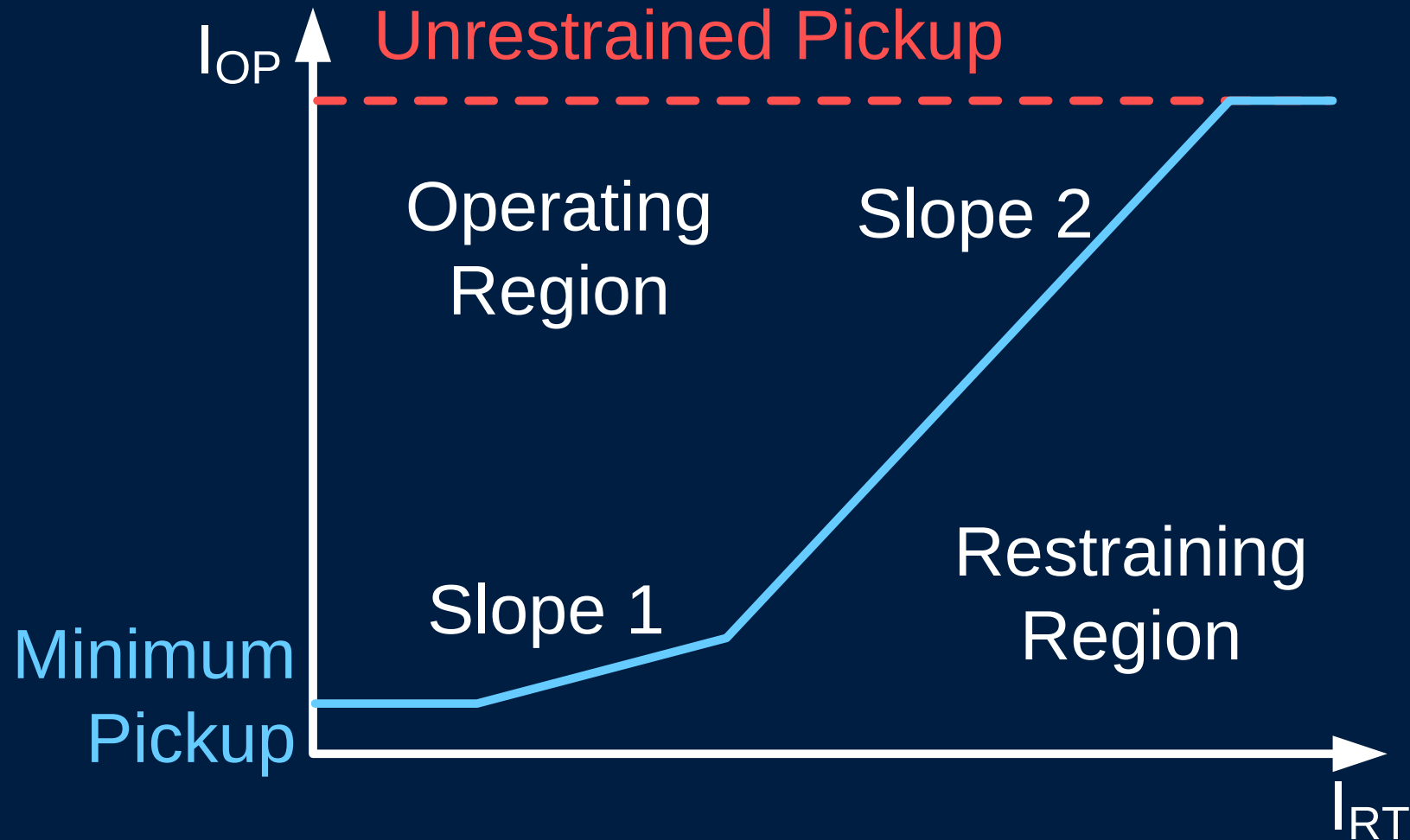
Faltas Entre Fases

Auto-balanceado



Faltas Entre Fases

Diferencial Percentual

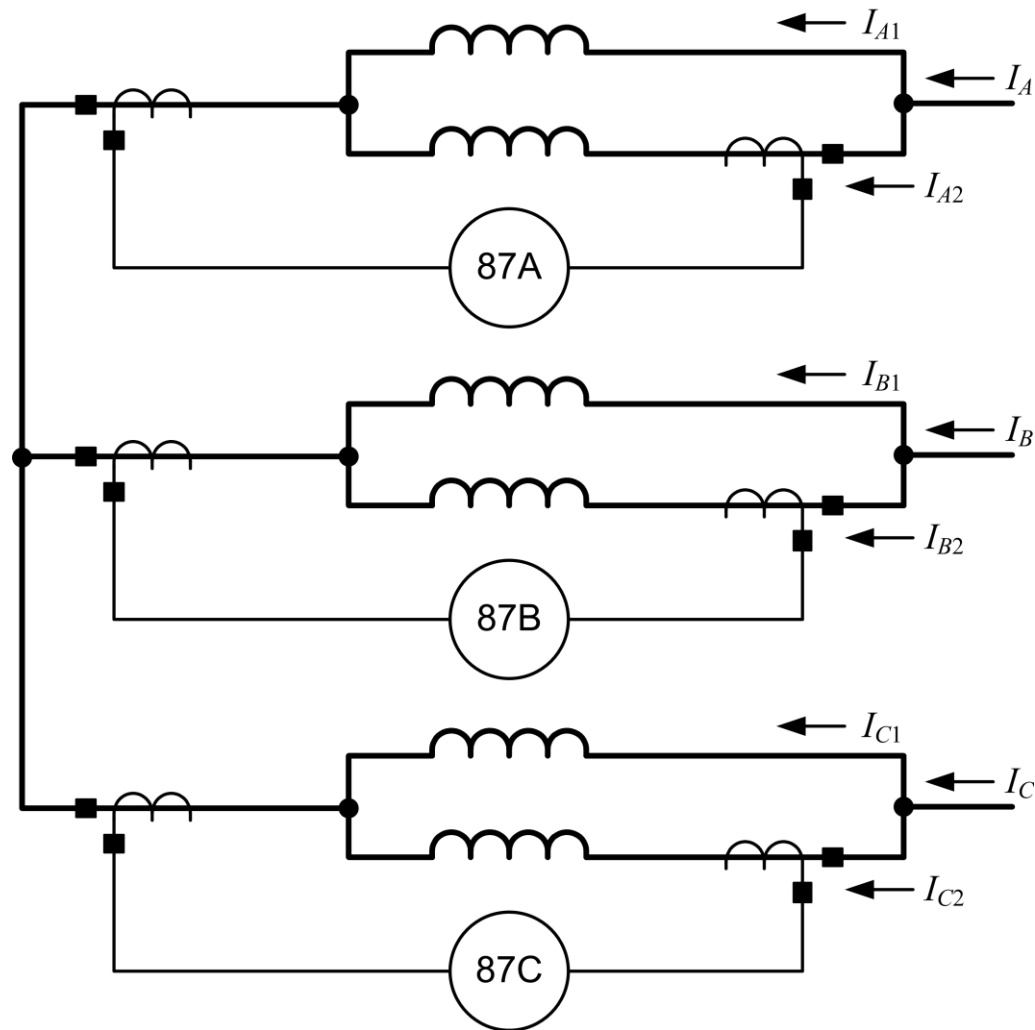


Faltas Entre Espiras

- Faltas entre espiras são graves para os geradores
- Geradores com fase dividida
 - ♦ Proteção diferencial de fase dividida
 - ♦ Proteção autobalanceada de fase dividida

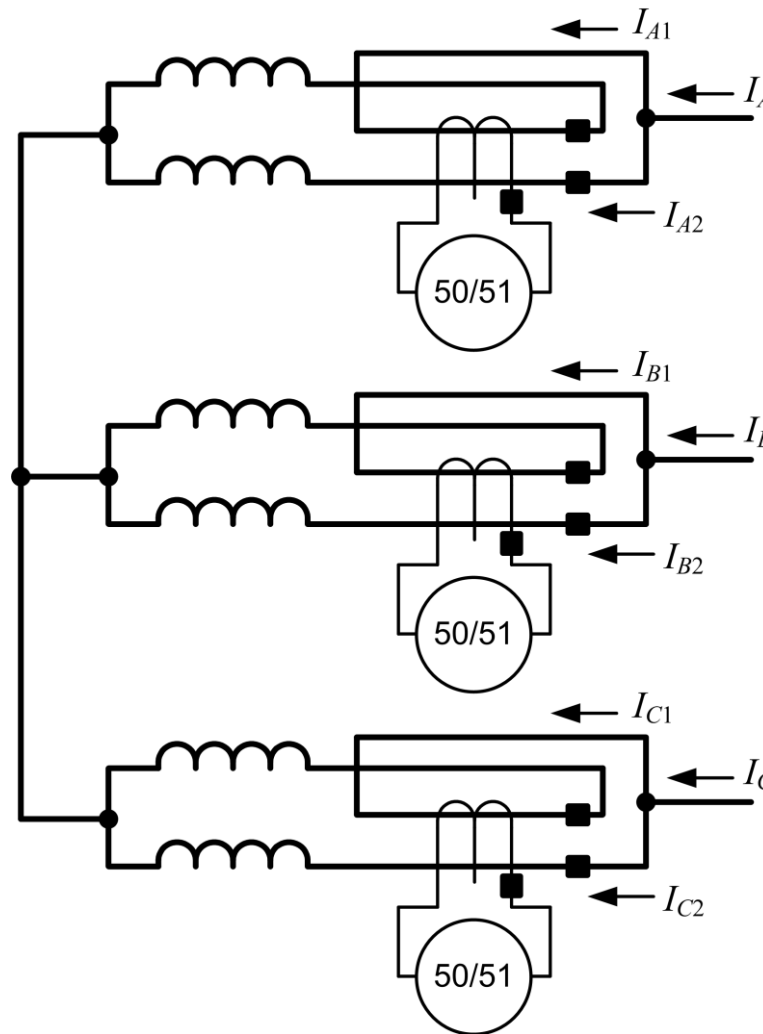
Faltas Entre Espiras

Diferencial Percentual de Fase Dividida



Faltas Entre Espiras

Diferencial Autobalanceada de Fase Dividida



Faltas à Terra no Estator

**Qual a Cobertura do Elemento
Diferencial Percentual?**

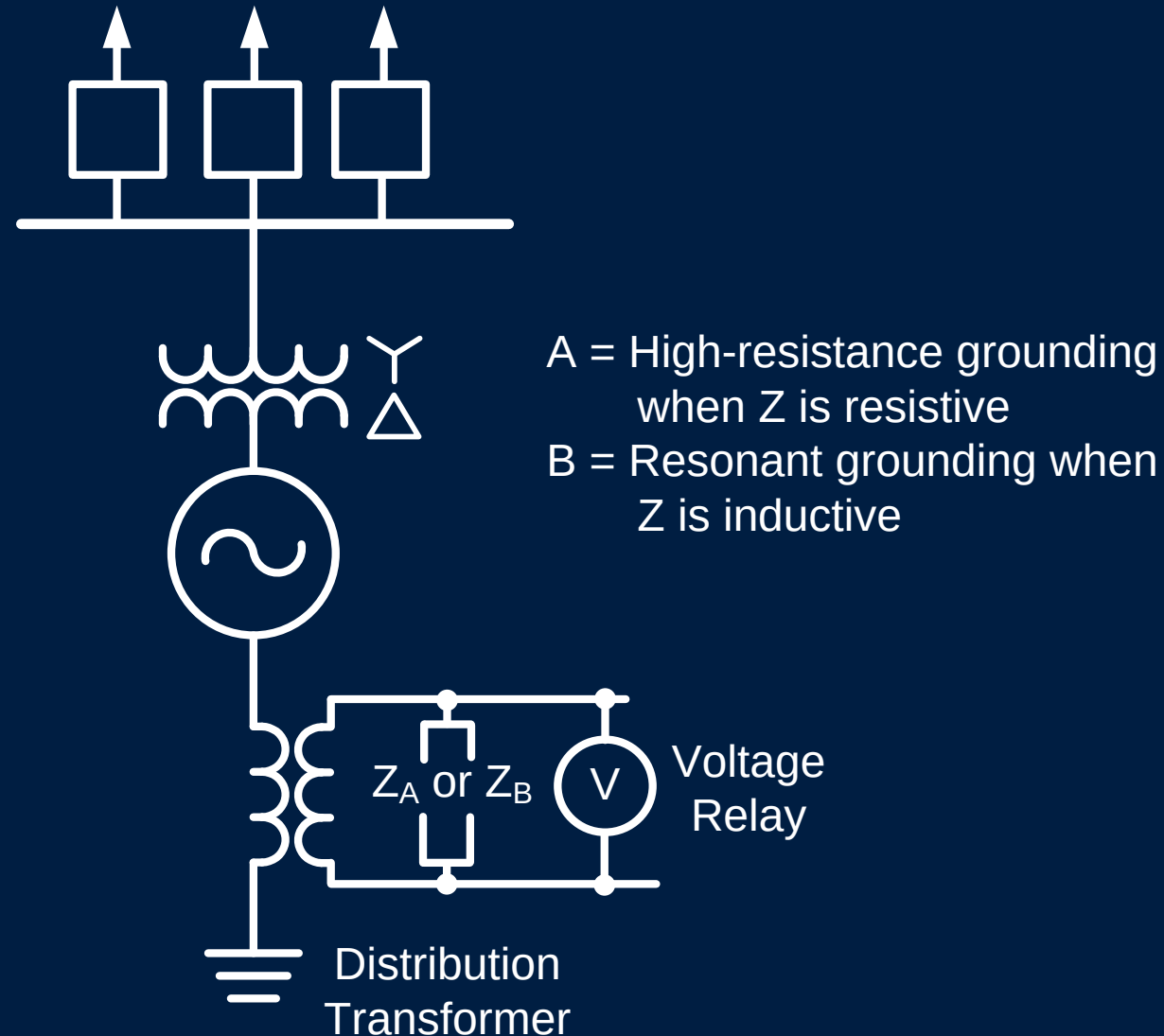
Tipos de Aterramento

- Aterramento ressonante
 - ♦ Bobina de Peterson
- Isolado – não aterrado
- Aterrado com alta-resistência
- Aterrado com baixa-resistência
- Aterrado com baixa-reatância
- Aterrado diretamente

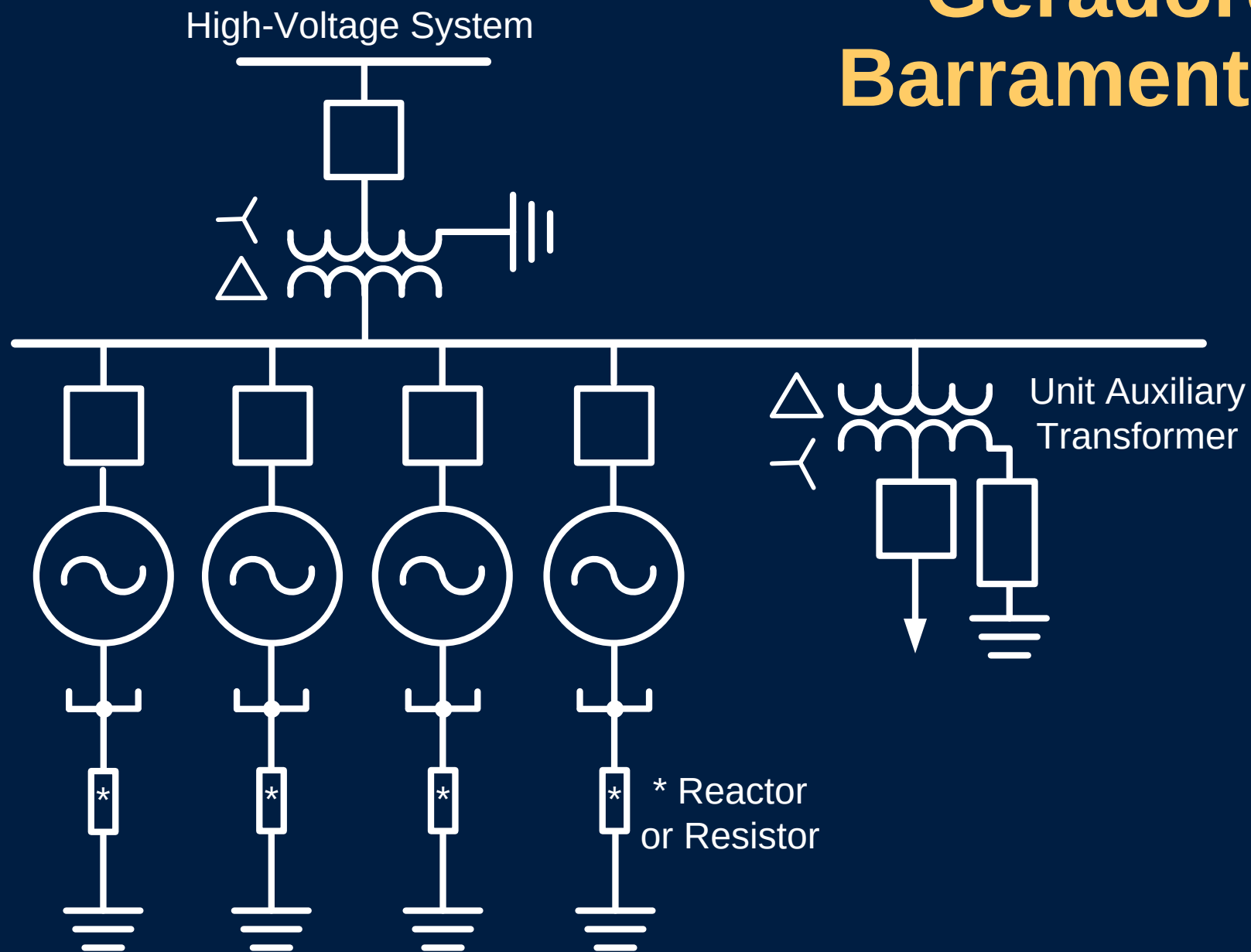
Aterramento Baseado na Configuração

- Gerador conectado a um trafo elevador
 - ◆ Normalmente prioriza-se a proteção da máquina
 - ◆ Aterrado por alta resistência
- Geradores com barramento comum
 - ◆ Acompanha-se o aterramento do sistema
 - ◆ Aterrado por baixa resistência
 - ◆ Aterrado diretamente

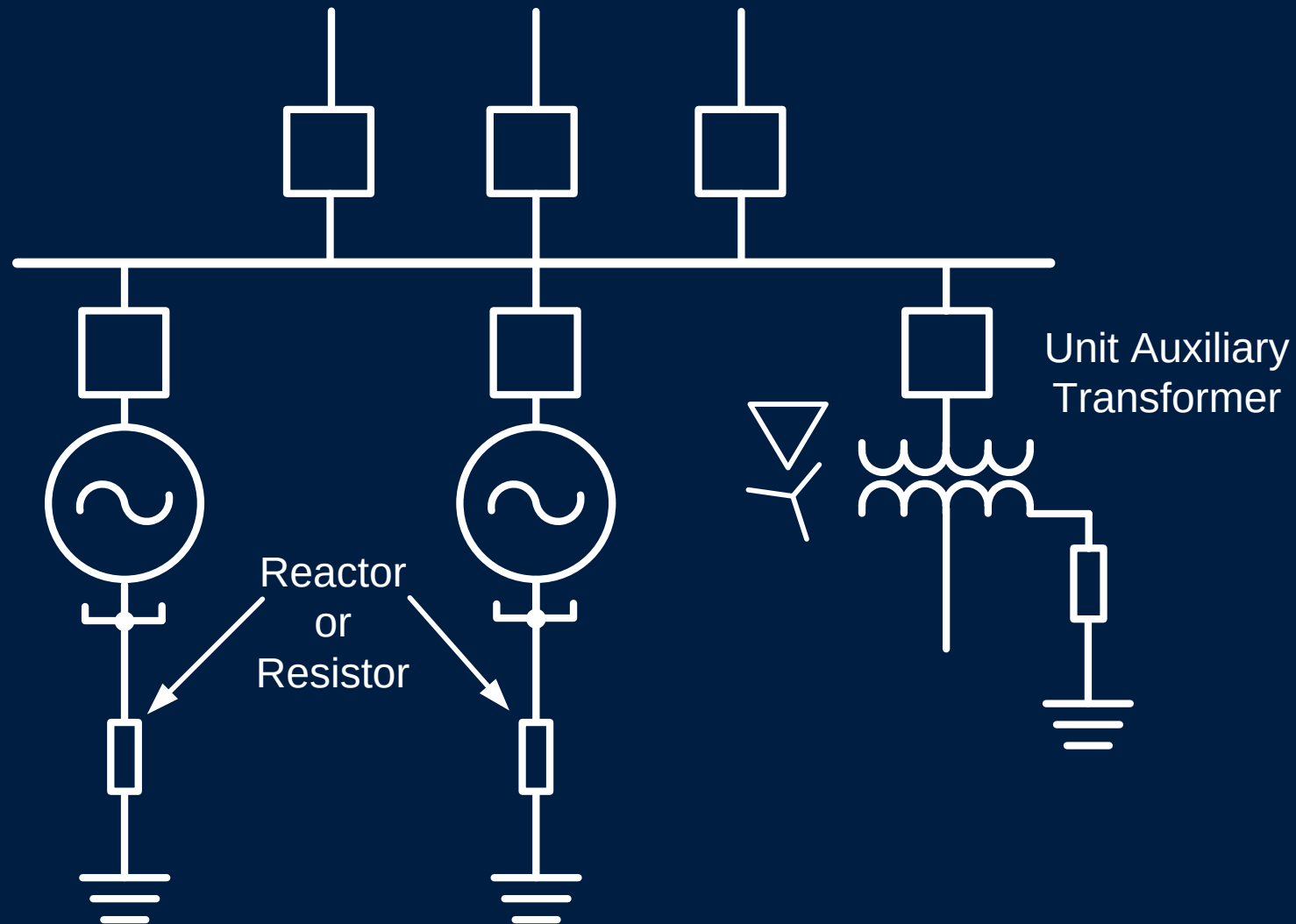
Gerador Conectado Através de Transformador Elevador



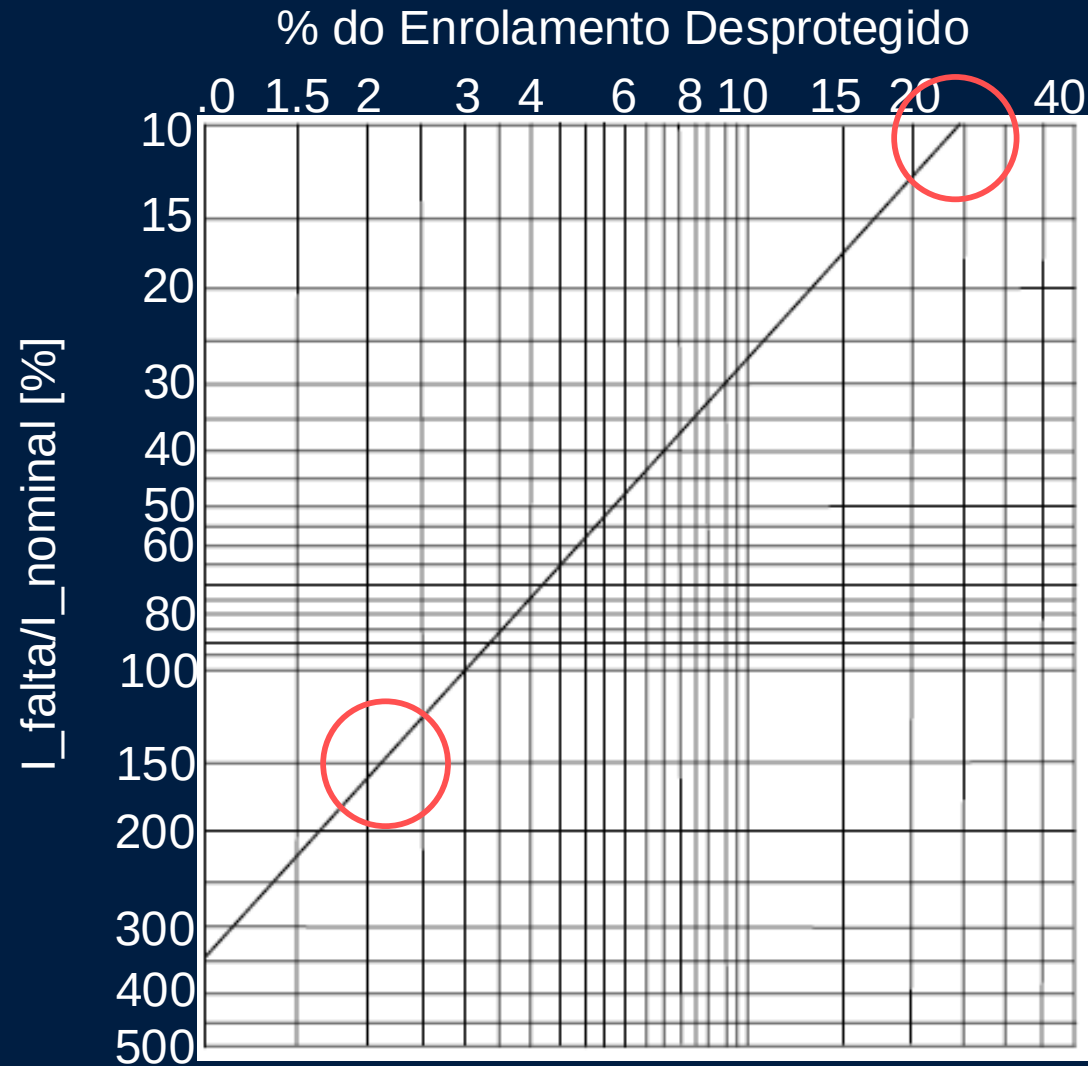
Geradores Com Barramento Comum



Geradores com Barramento Comum – Conectado na Distribuição



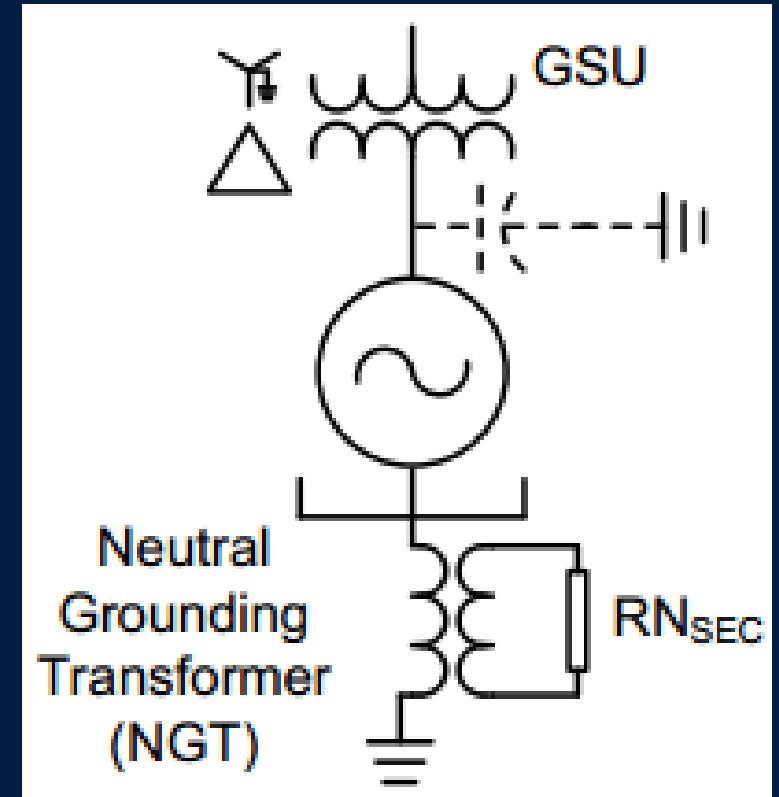
Sensibilidade do Relé Diferencial Para Faltas à Terra



Proteção de Geradores Aterrados por Alta Impedância

Aterramento por Alta Impedância

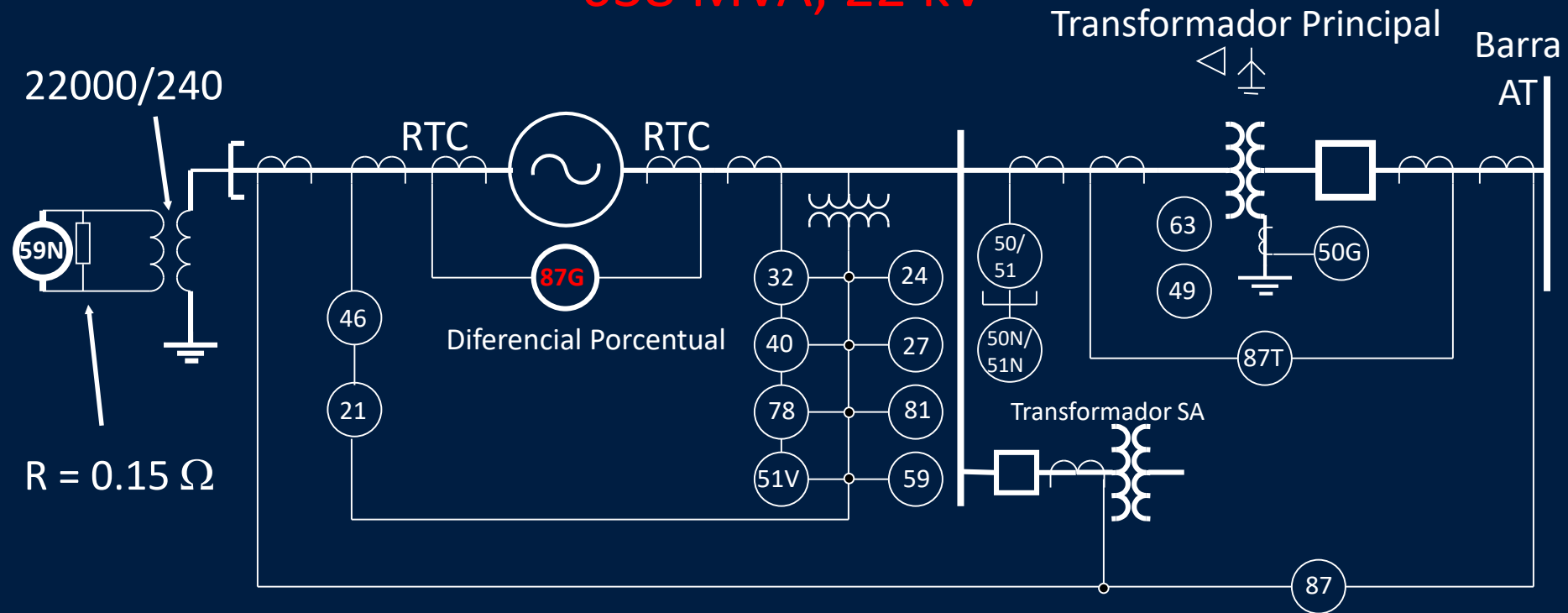
- Limita corrente de curto
 - ♦ Proteção mecânica e térmica – enrolamento e núcleo
- Sobretensões transitórias são controladas/limitadas



Exemplo – Proteção do Estator Para Faltas À Terra

Calcular os ajustes do 87G e 59N

638 MVA, 22 kV



Exemplo - Solução

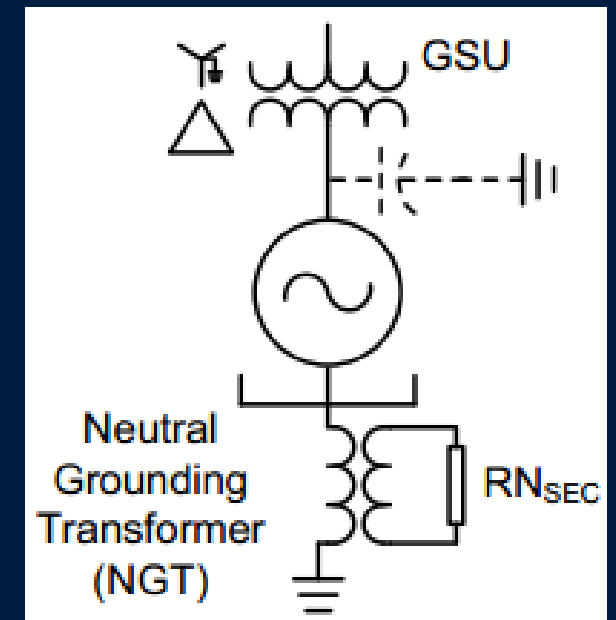
- Ajuste 87G:
 - ♦ $I_n = 638000 / (1.7321 \times 22) = 16743.16 \text{ A}$
 - ♦ $RTC = 20000 / 5$
 - ♦ Pickup = 10% $I_n \sim 0.4\text{A}$, secundário
 - ♦ Slope: 25%
- Corrente de falta F-Terra:
 - ♦ $R_p = (22000 / 240)^2 \times 0.15 = 1260 \text{ ohms}$
 - ♦ $I_f = 22000 (1.7321 \times 1260) = 10 \text{ A}$, primários

Exemplo - Solução

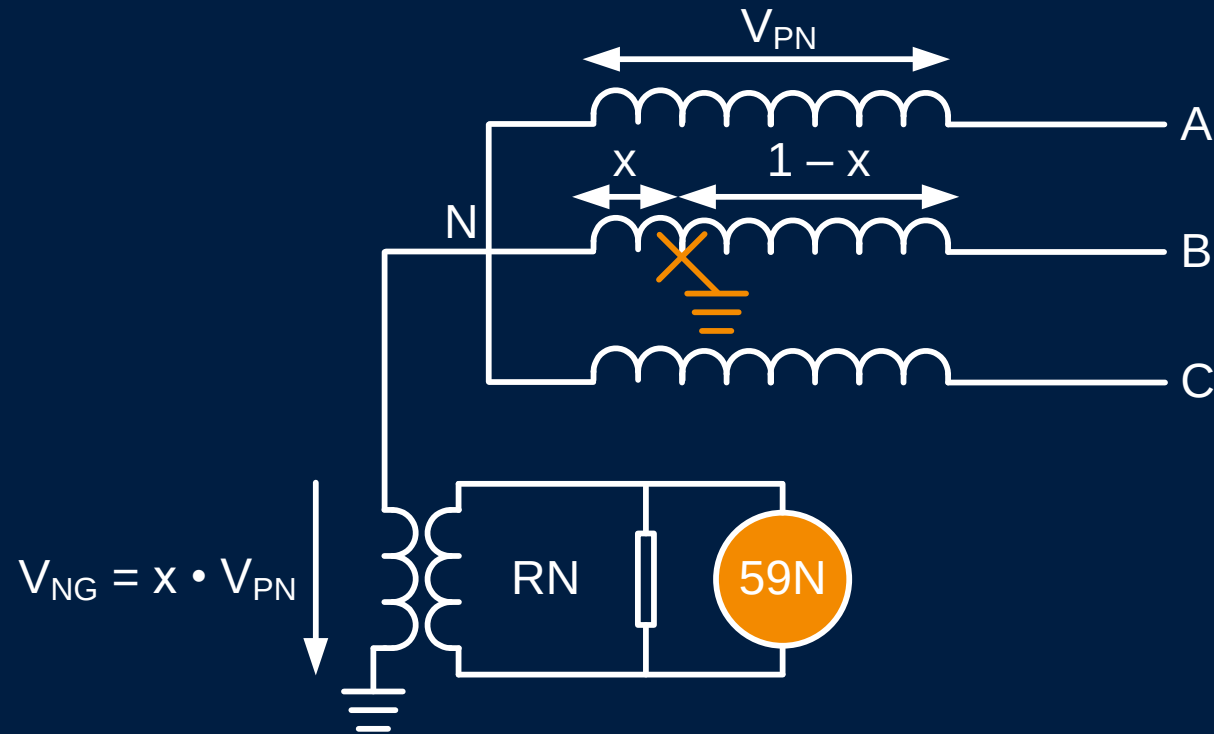
- Cobertura
 - ◆ Pickup = $0.4 \times \text{RTC} = 0.4 * 4000 = 1600 \text{ A}$,
primários
 - 10 – 100%
 - 1600 – X
 - X = 16000% - Não protegido

Sobretensão de Neutro (59N)

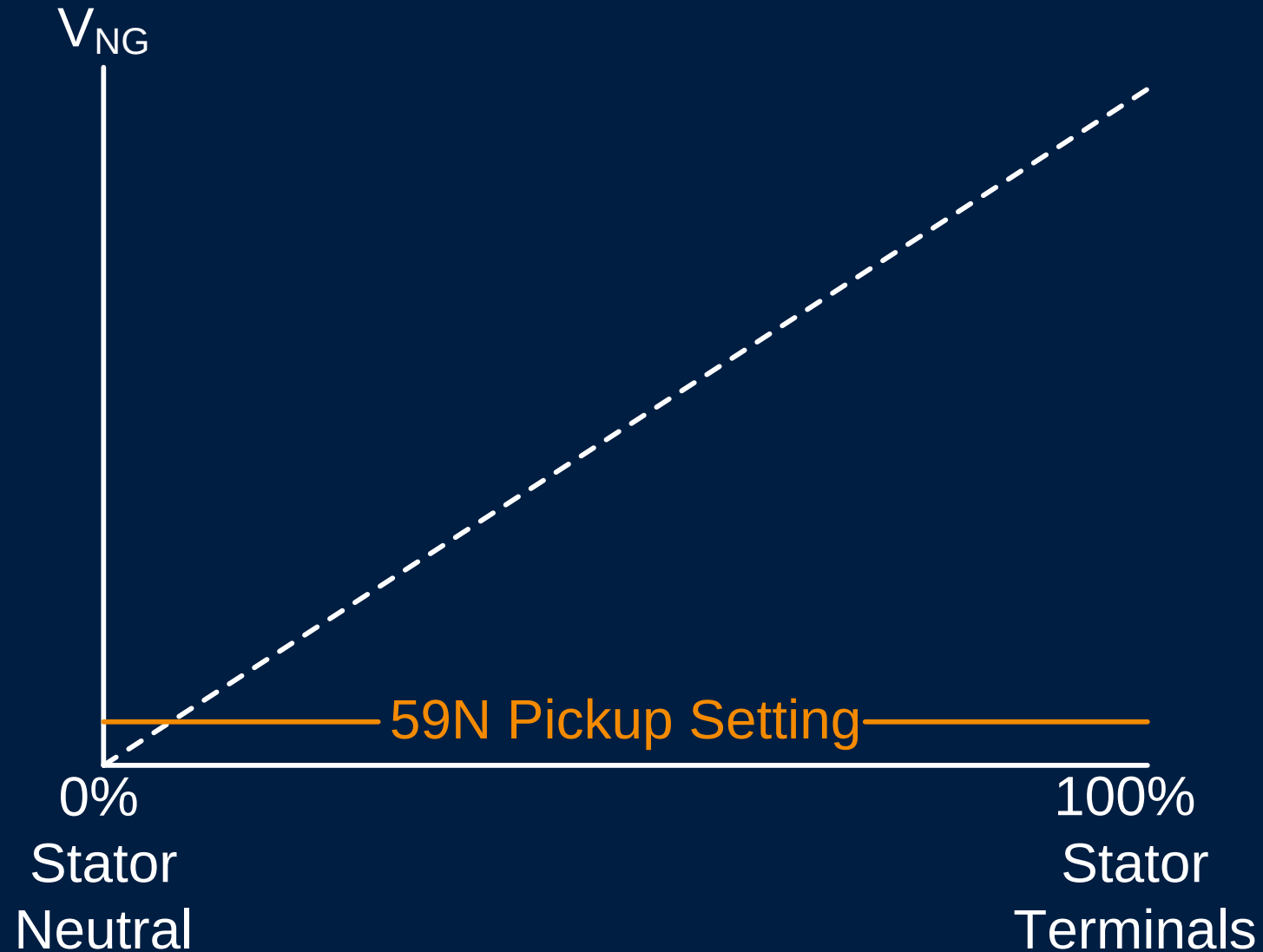
- Método principal para detecção de faltas à terra no estator
- Presença natural de harmônicos triplos
 - ♦ Trabalhar somente com fundamental



Sobretensão de Neutro (59N)

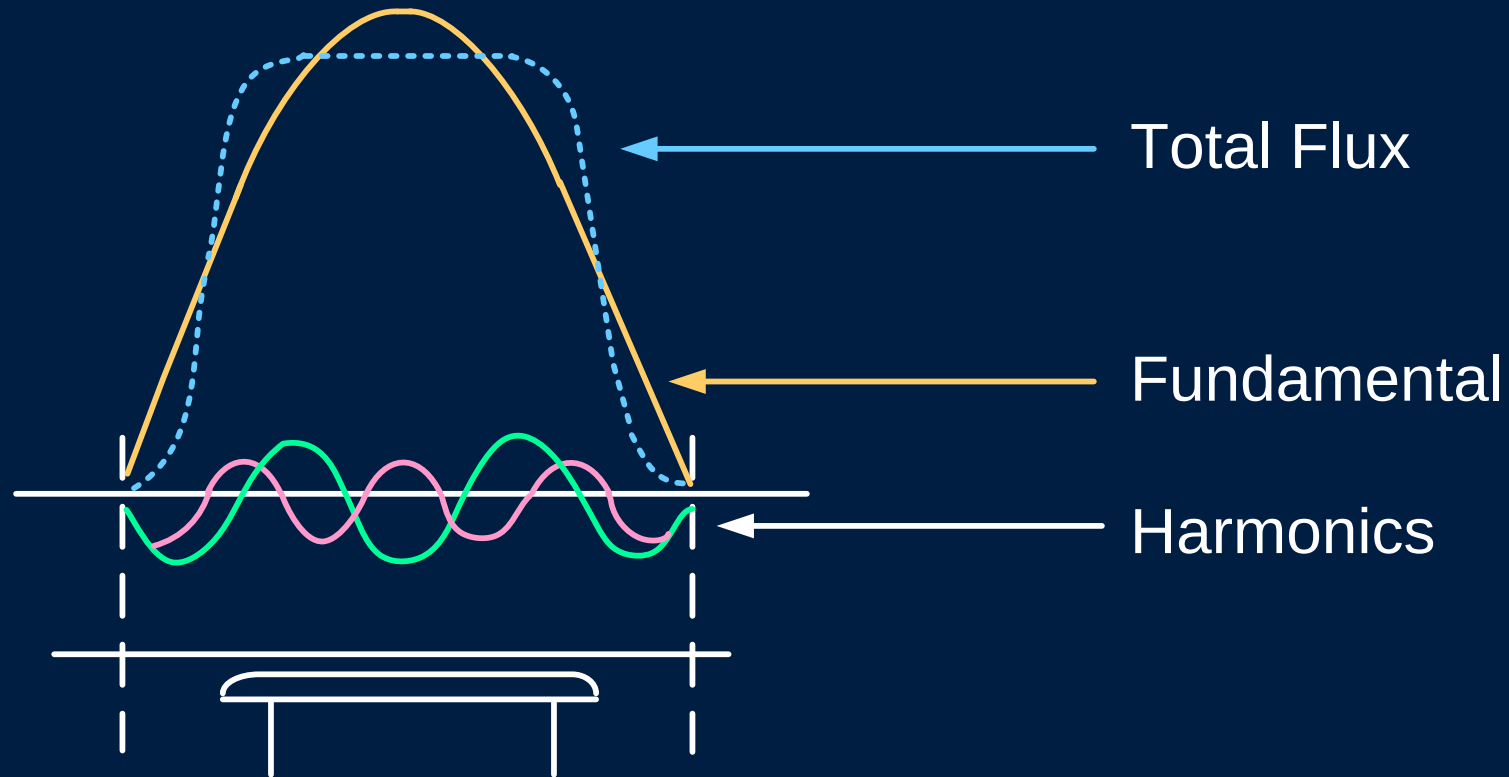


A Cobertura é Proporcional à Localização

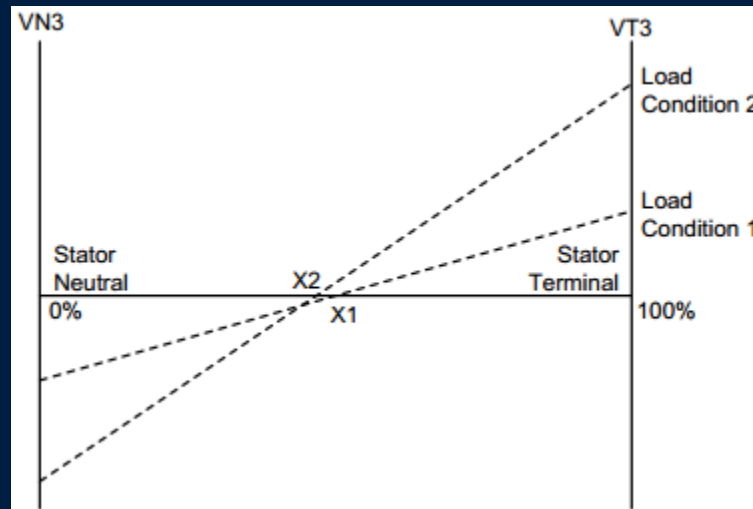
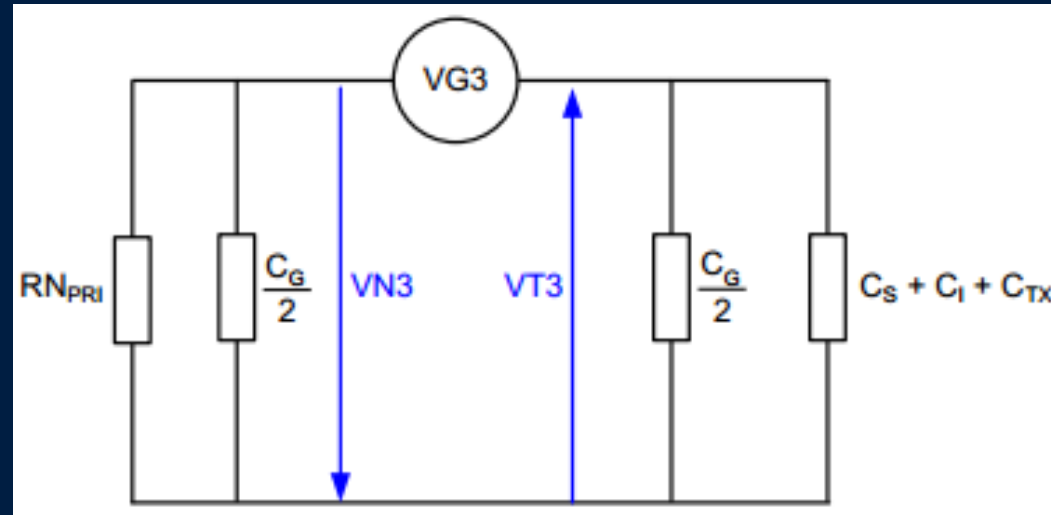


Esquemas Baseadas no 3º Harmônico

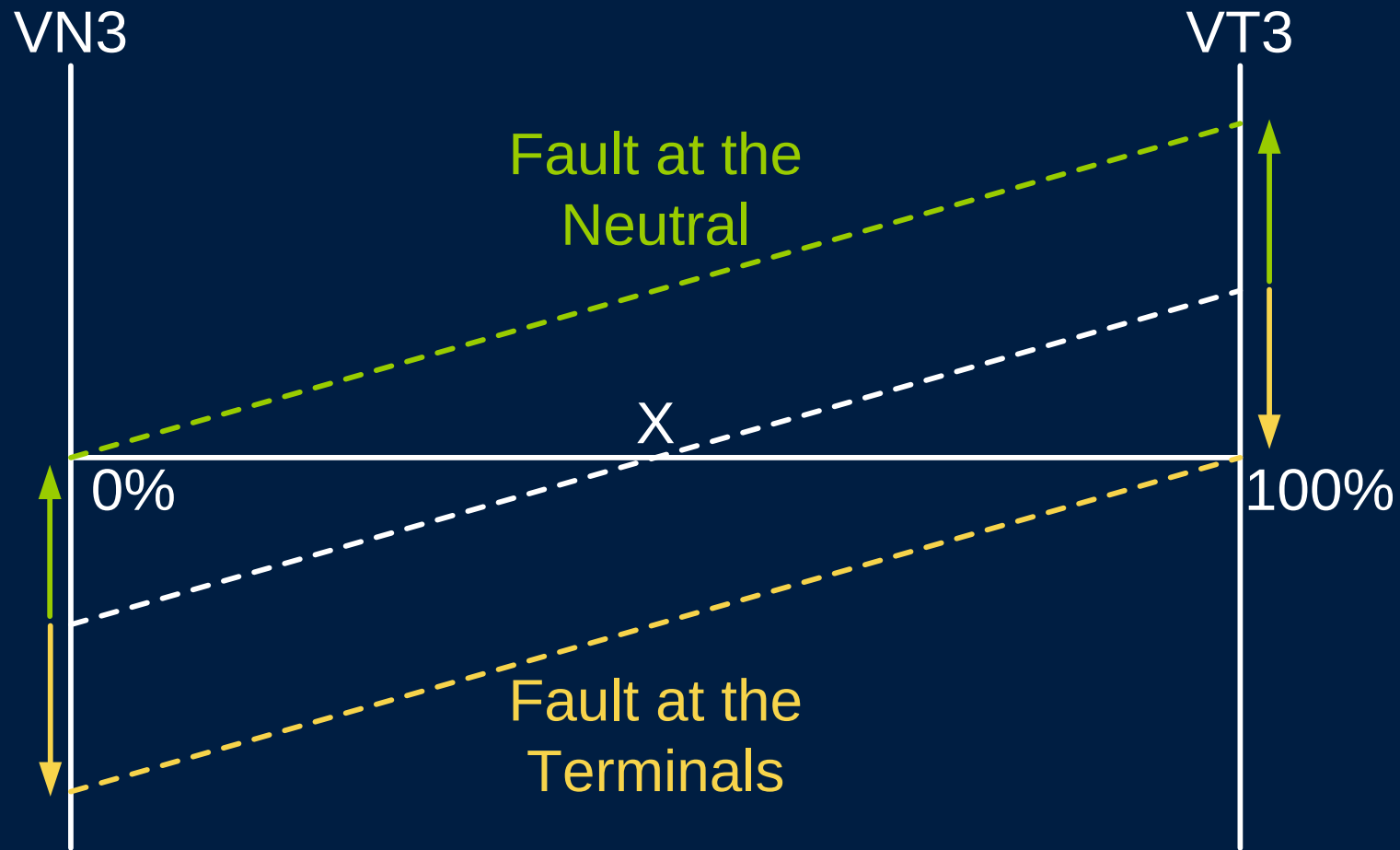
Distribuição do Fluxo no GAP do Gerador



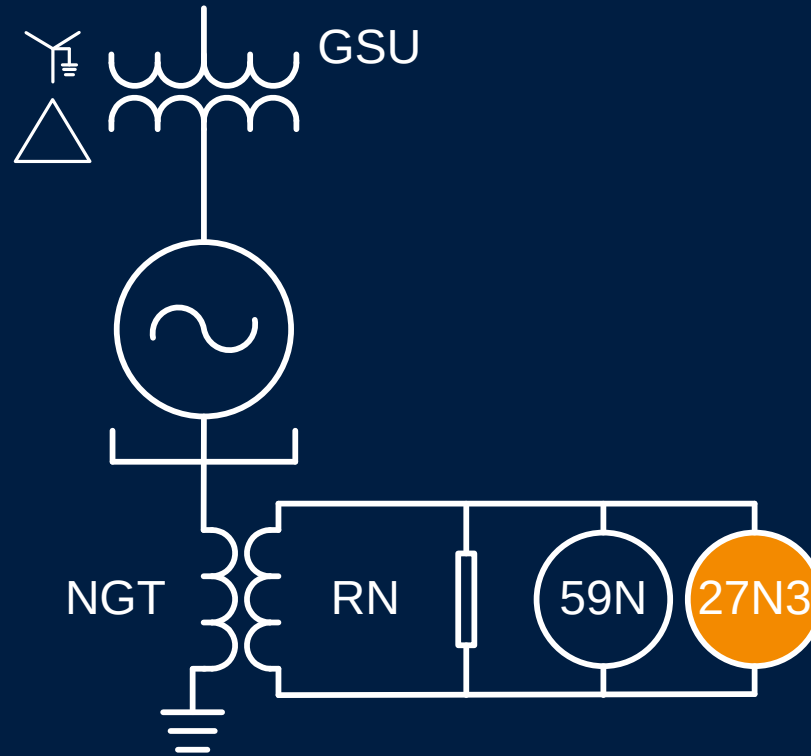
Circuito Equivalente 3º Harmônico



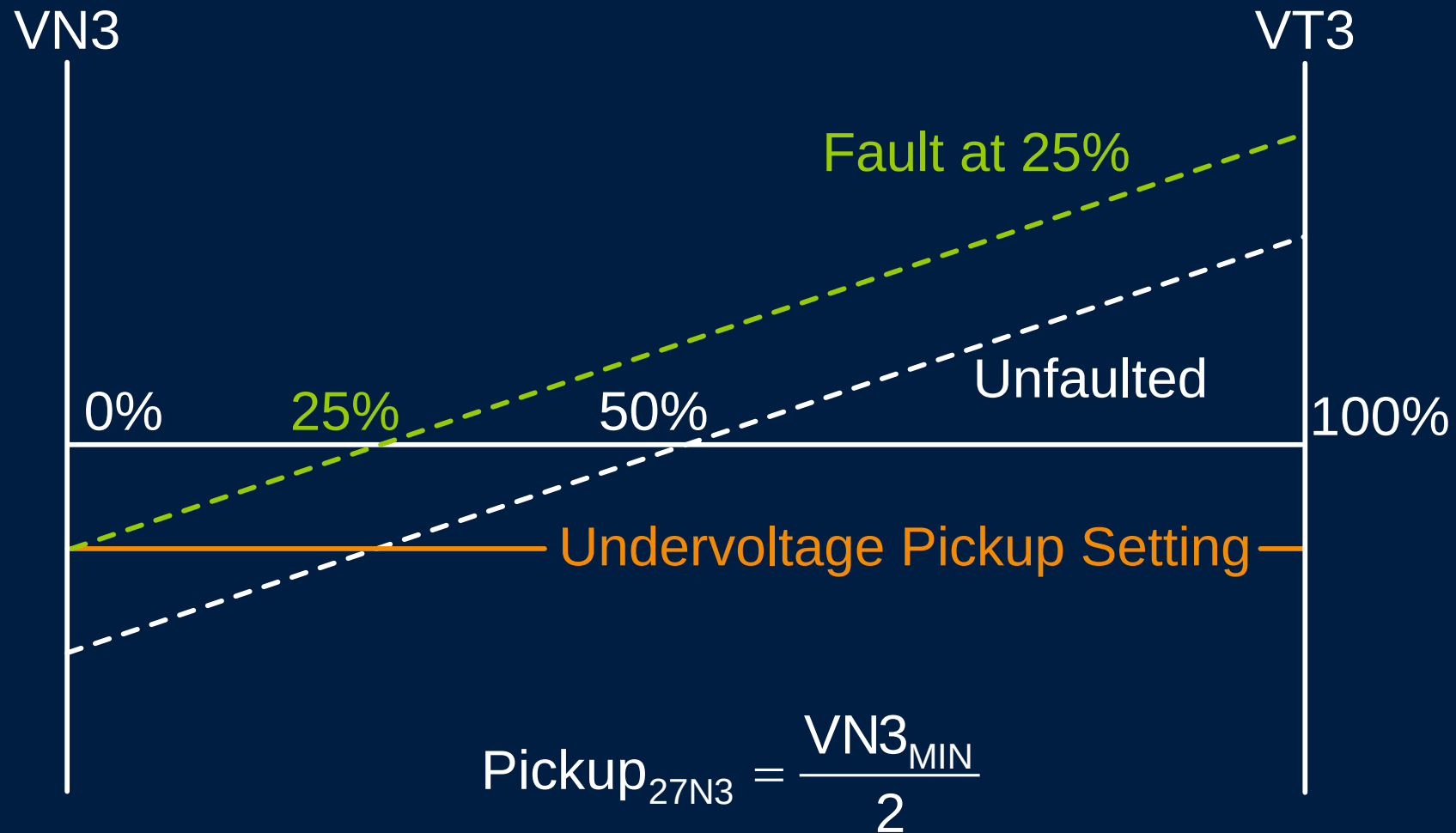
Distribuição de 3º Harmônico Durante Faltas no Estator



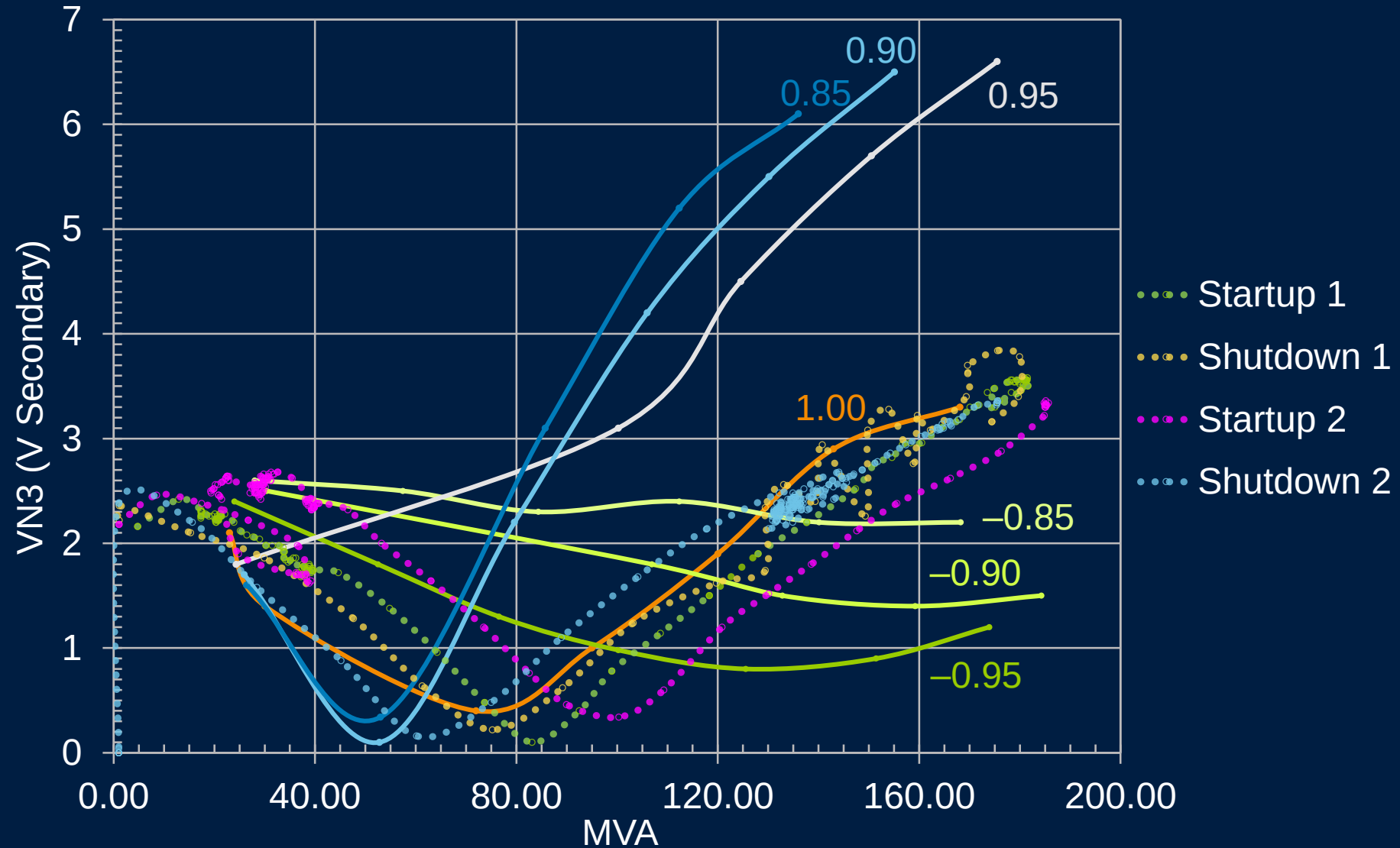
Subtensão de 3º Harmônico



Ajuste do Pickup – 27N3



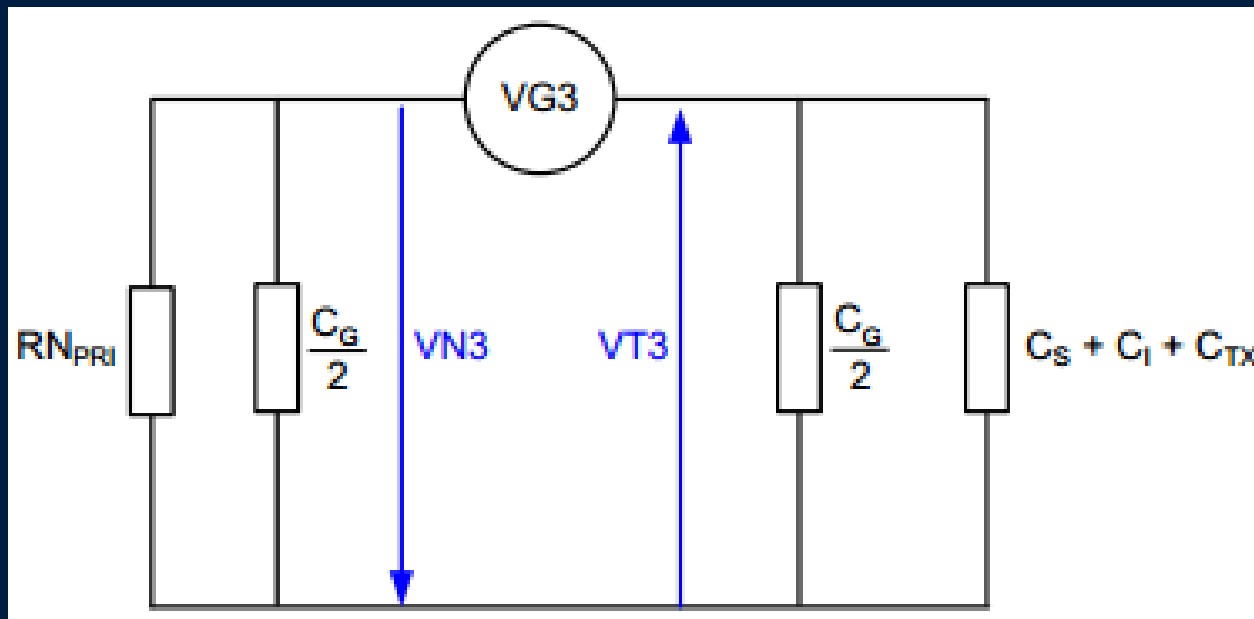
Pesquisa de VN3



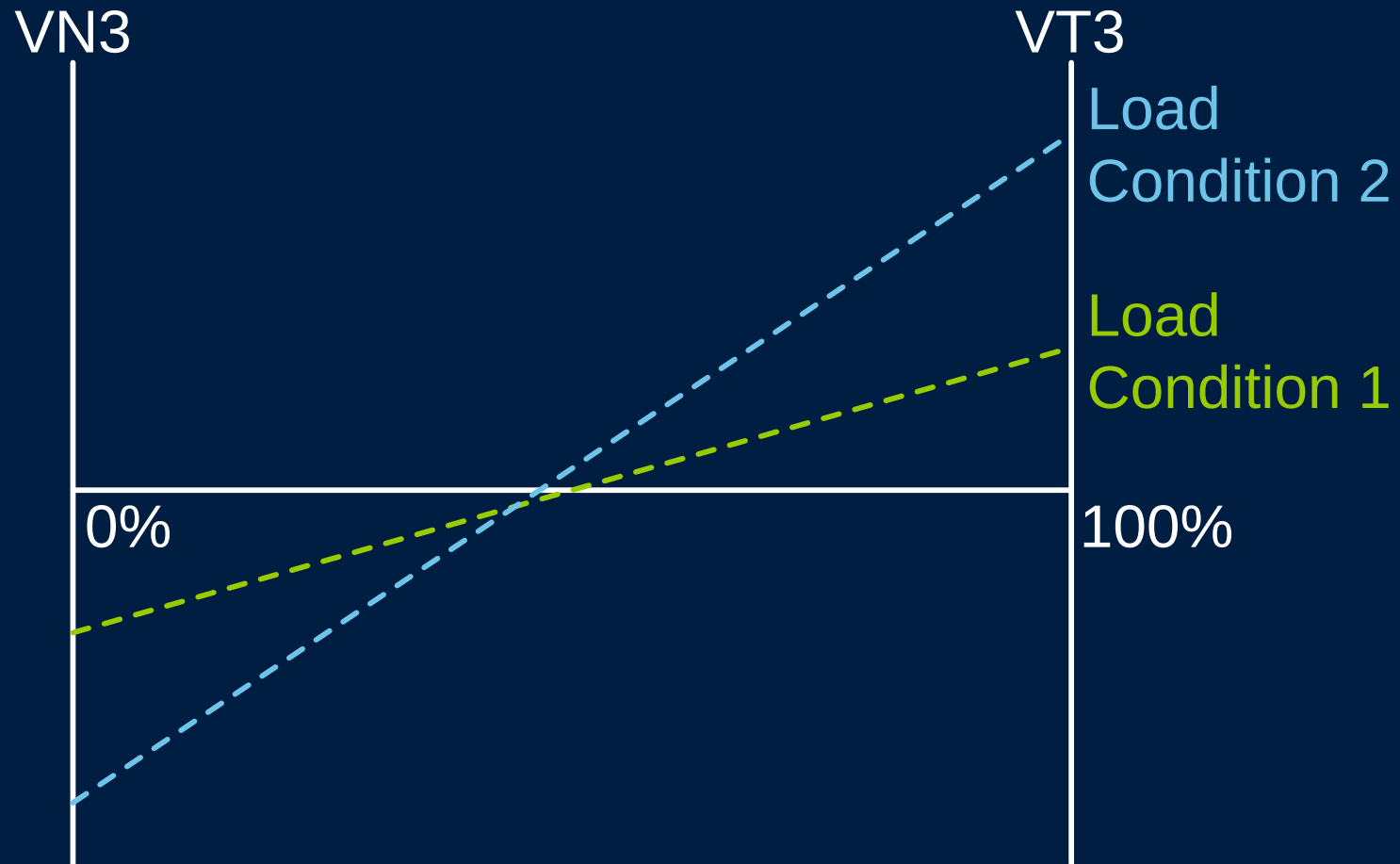
Outras Considerações – 27N3

- Elemento de subtensão – deve-se ter cuidado com a segurança
 - Supervisão por tensão de sequencia positiva
- Pode ser bloqueado para algumas condições de operação
 - Durante energização e parada
 - Nível de potência ativa
 - Fator de potência

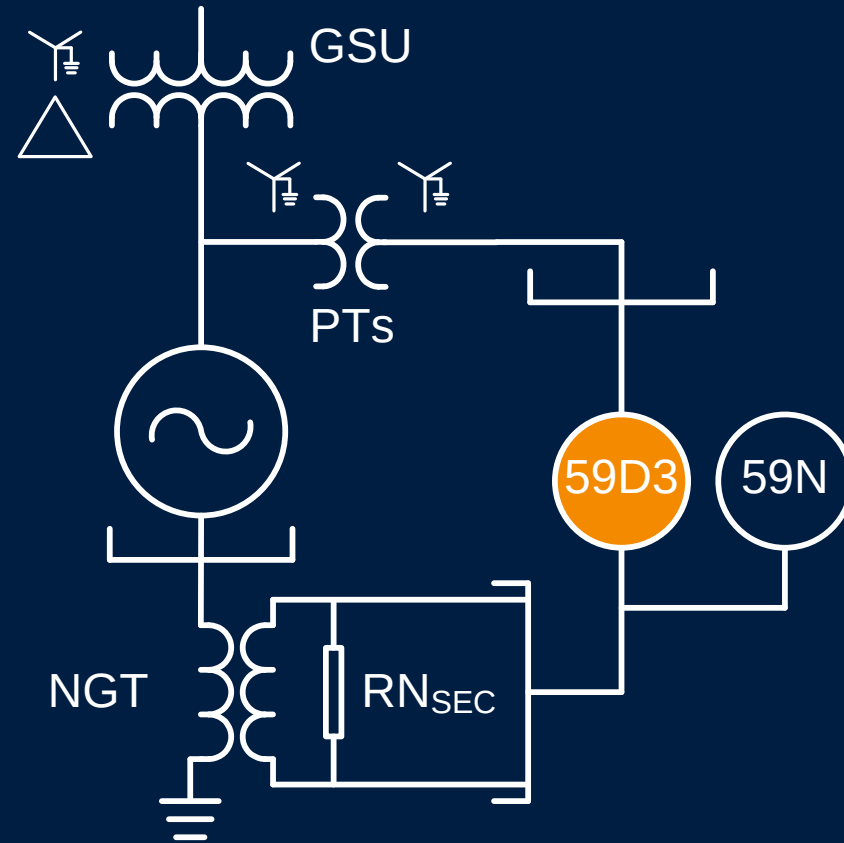
Distribuição das Tensões de 3º Harmônico



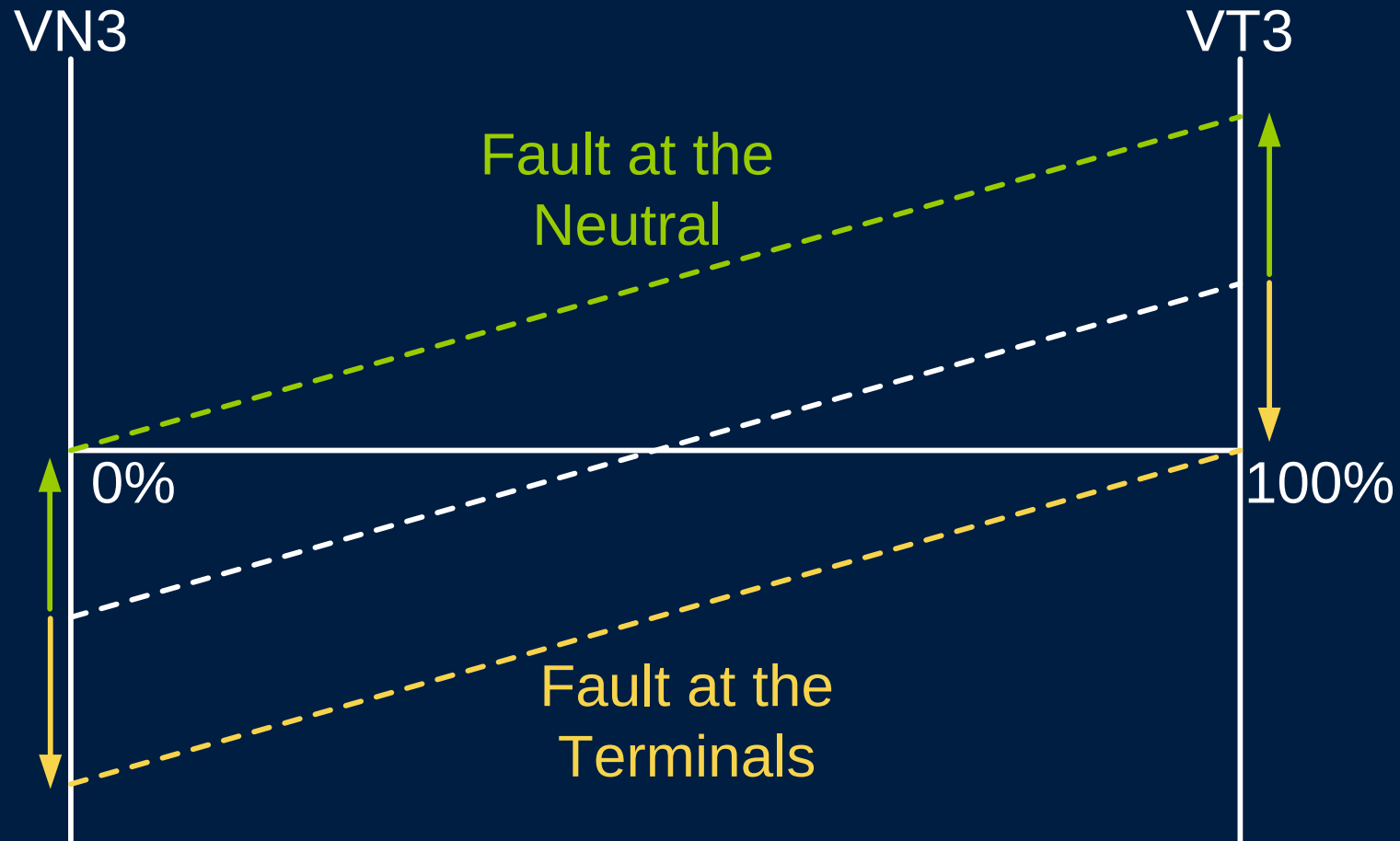
Relação Entre as Tensões Não é Sensível à Variação de Carga



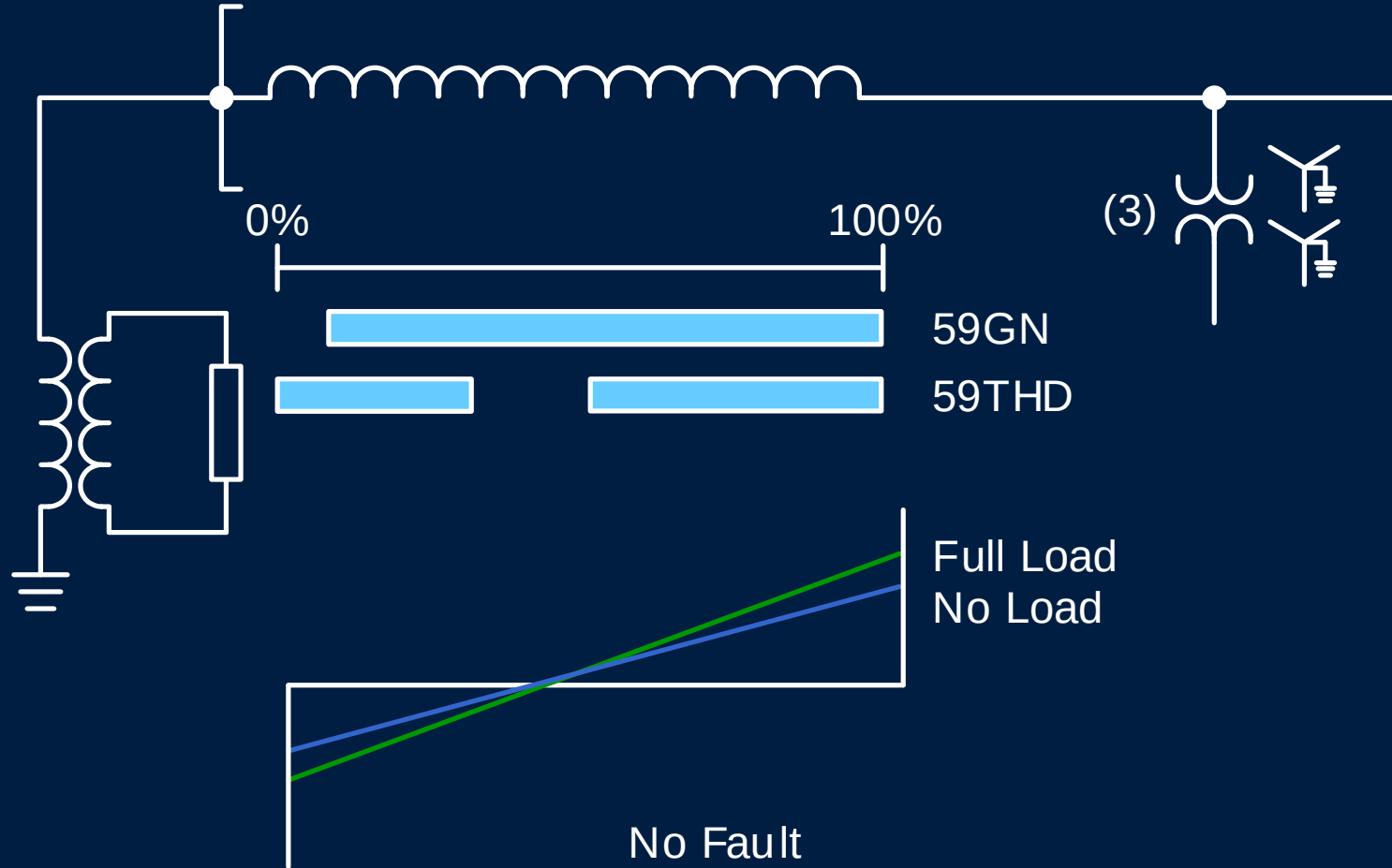
Diferencial de 3º Harmônico



Mudança do Perfil de Tensão Devido à Faltas



Proteção 100% Terra Estator



Outras Considerações – 59THD

- Apresenta melhor desempenho que elemento 27N3
- Mais fácil de ajustar que 27N3
- Depende do nível de terceiro harmônico gerado pela máquina
- Máquinas de polos lisos normalmente não geram terceiro harmônico suficiente

Planilha Auxiliar Para Ajustes

SEL-300G / SEL-700G Relay 100% Stator Ground Protection Function Setting Worksheet

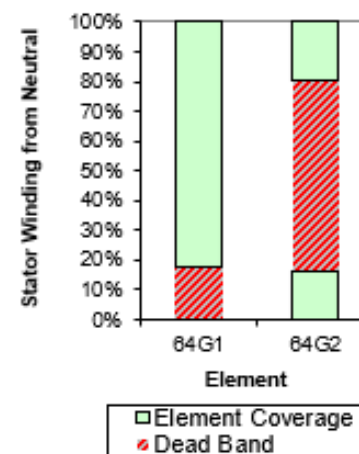
Station:	XYZ Power Station		Rated MW:	725.00	Machine Rated ϕ - ϕ kV:	24.00
Gen.:	No. 1		Phase PT Ratio to 1 (PTR):	200.00	Neut. PT Ratio to 1 (PTRN):	60.00
Relay:	SEL- 300G					

Load MW	PF	Lag/Ld	VP3 V sec.	VN3 V sec.
0.00	--	--	2.662	7.690
100.00			2.400	5.000
200.00			2.000	5.000
300.00			4.000	6.000
400.00			2.000	5.000
500.00			3.000	6.000
600.00			2.000	11.000
650.00			2.000	11.000
670.00			2.500	12.000
700.00			3.000	12.000
725.00			5.080	14.710

Setting Criteria	Calculated Settings	Actual Settings
64RAT =	3.11	3.1

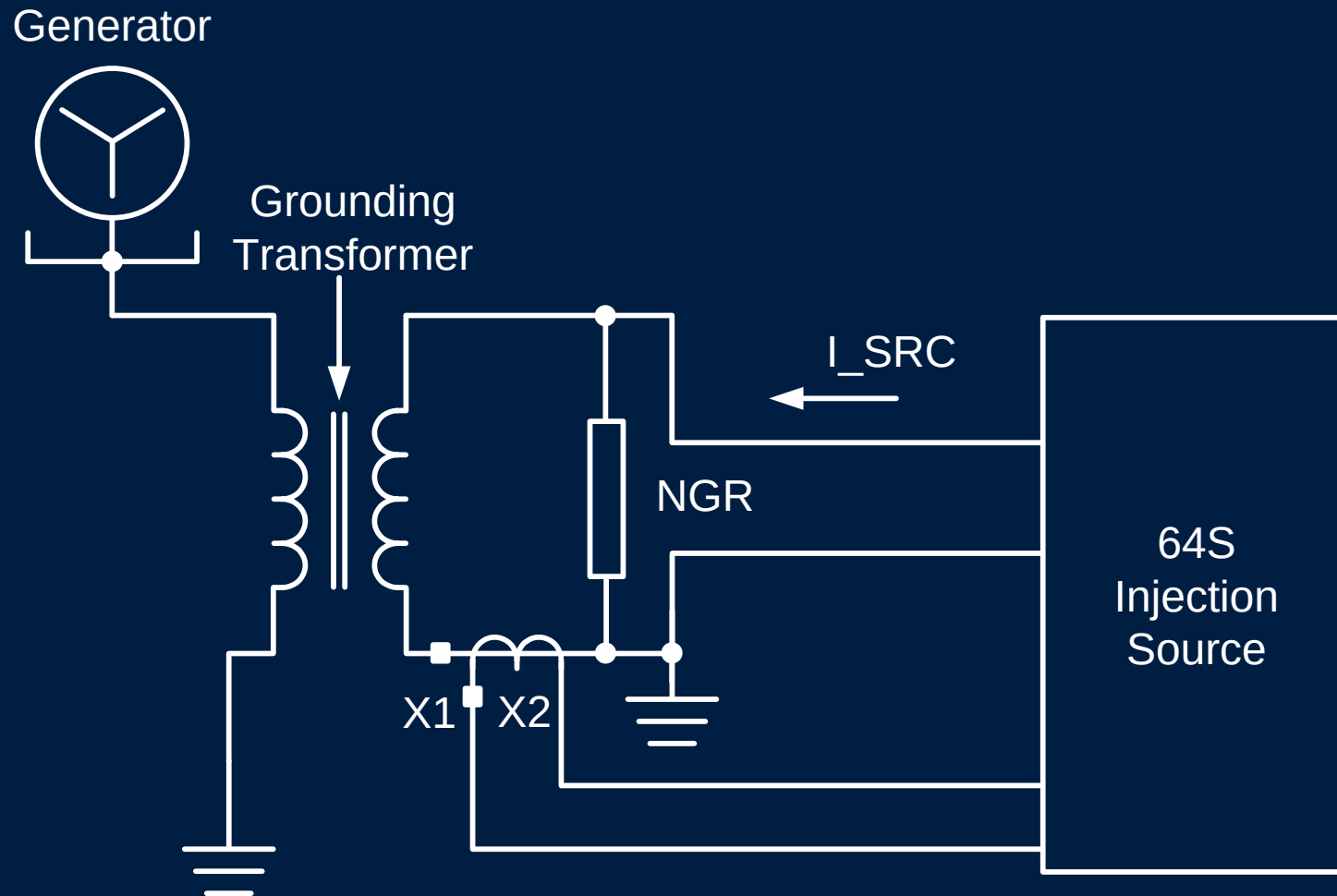
Element Coverage at 200.00 MW

Coverage when Element-Overlap is minimum

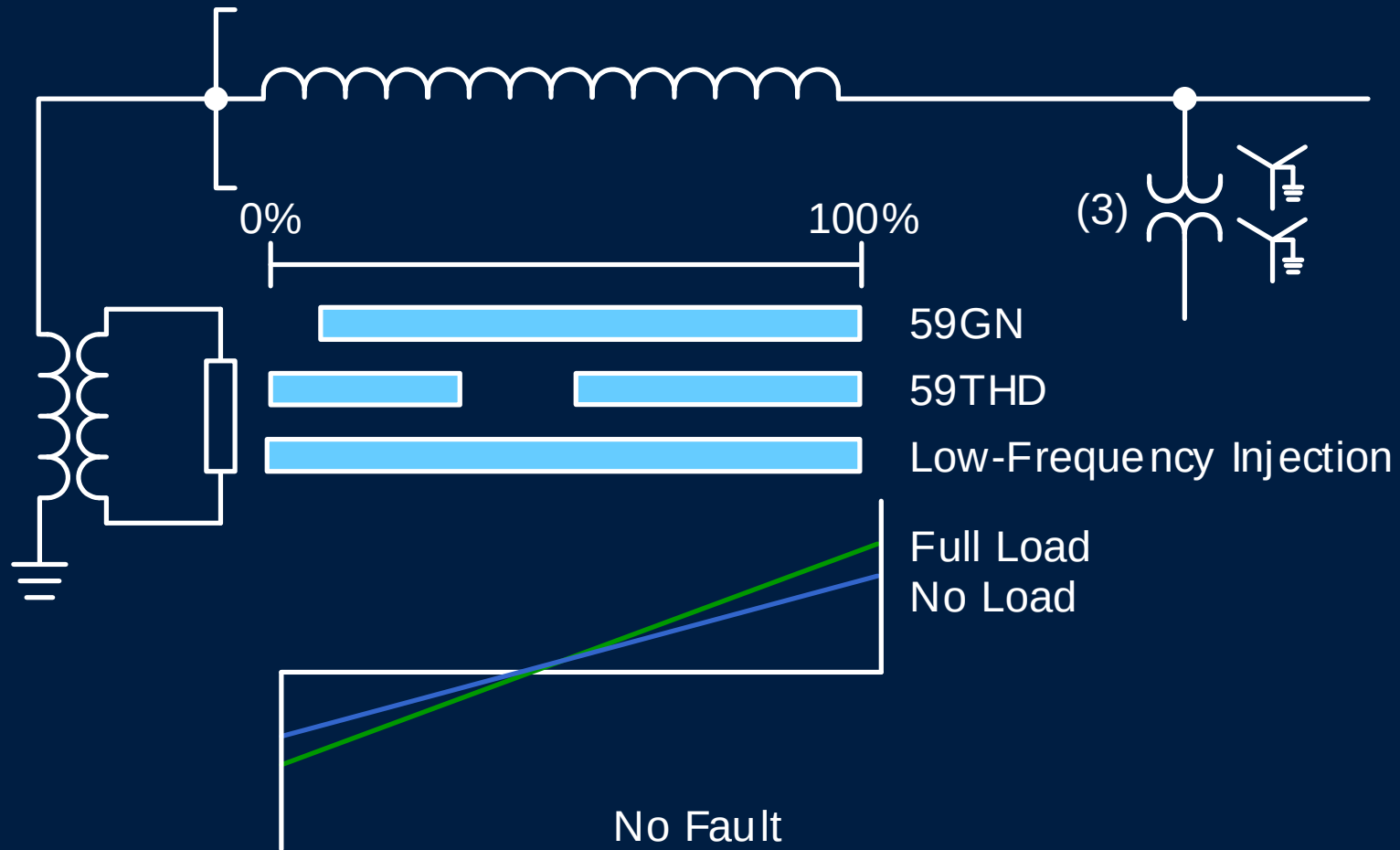


Proteção 100% Terra Estator

Método por Injeção



Proteção 100% Terra Estator

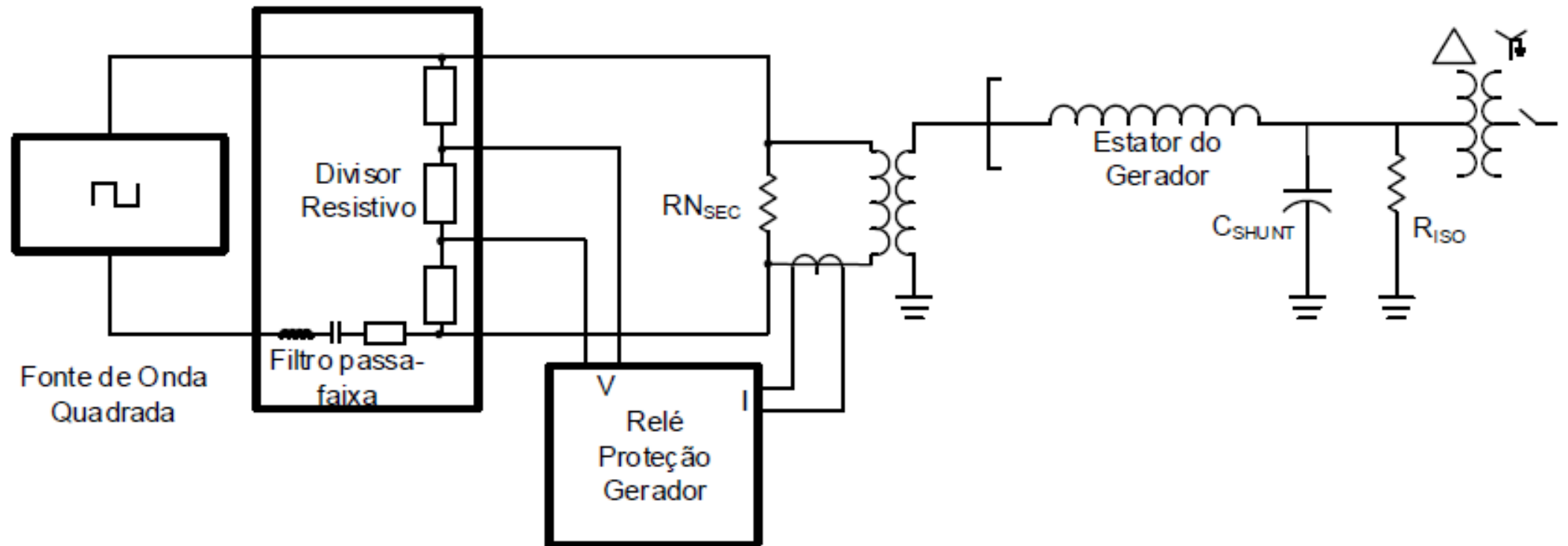


Proteção Baseada em Injeção

Princípio de Operação: Ohmímetro Especial



Método Baseado em Injeção Tradicional

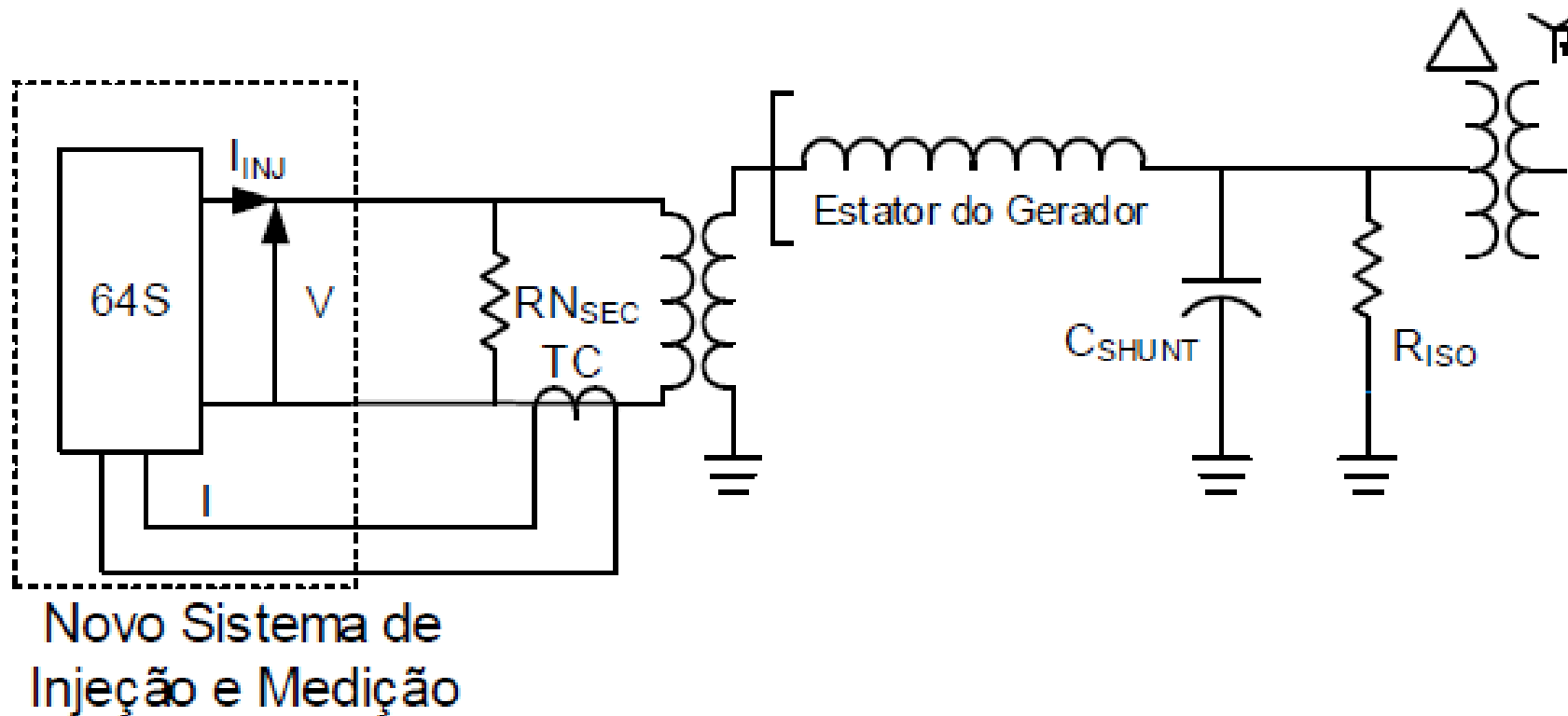


Método Baseado Em Injeção Tradicional

- Sinal de tensão de onda quadrada – 20 Hz
 - ♦ Frequência única
- Dispositivo de injeção e dispositivo de medição
 - ♦ Custo elevado
 - ♦ Dificuldade de obter medição precisa da resistência de isolamento
 - ♦ Dificuldade de monitorar o resistor de aterramento

Método Baseado em Injeção

Novo Método



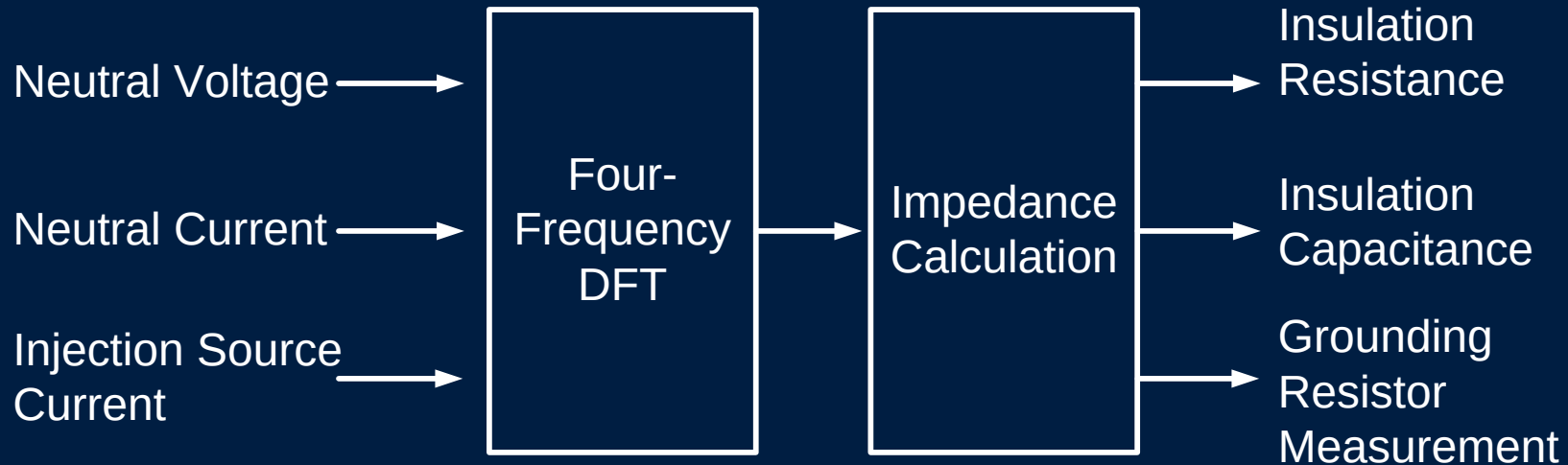
Método Baseado Em Injeção

Novo Método

- Sistema de injeção e medição no mesmo dispositivo
 - ♦ Aplicação independente do fabricante do IED de proteção
 - ♦ Grandezas V , I e I_{INJ}
 - ♦ Medição precisa de R_{ISO} e resistor de aterramento
- Sinal multi-frequência
 - ♦ Imune a interferência de frequência única
 - ♦ Proteção redundante

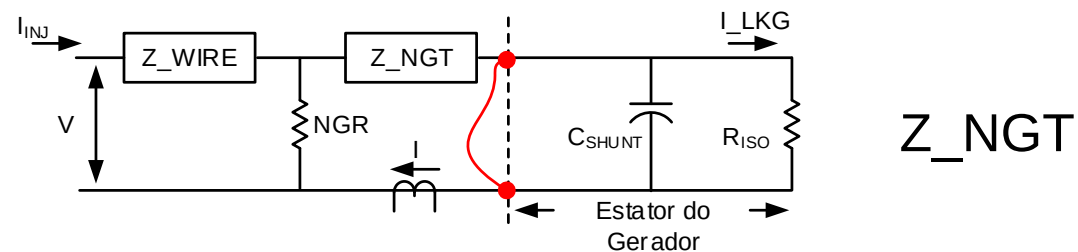
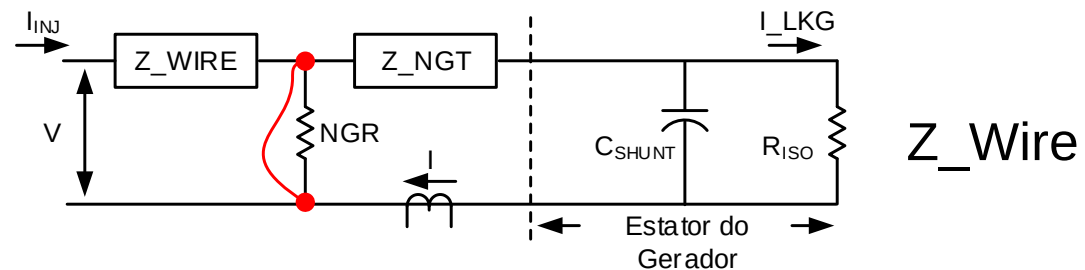
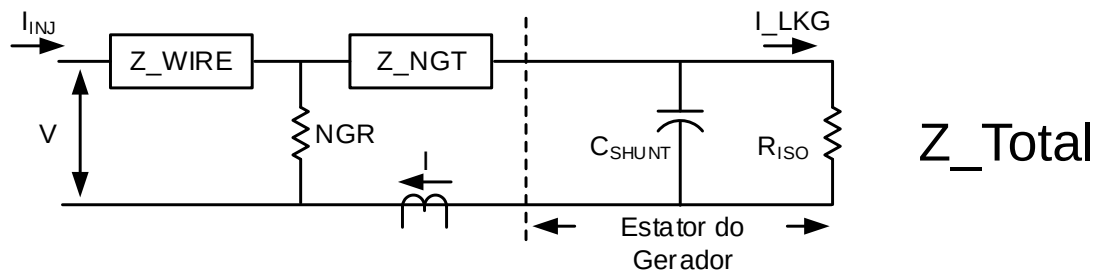
Processamento dos Sinais

Medição Simples Utilizando a DFT



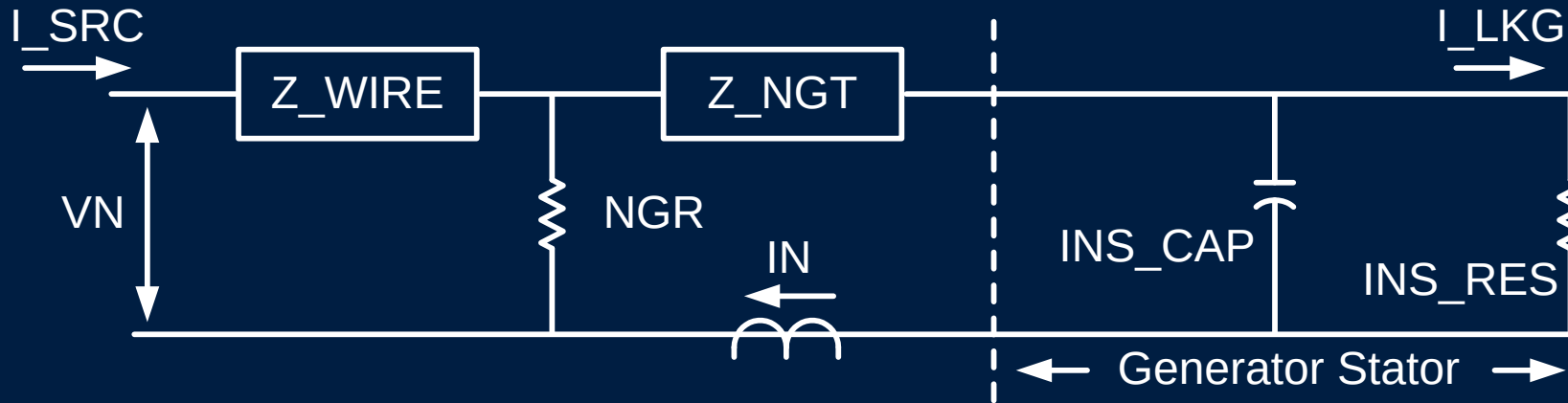
Processo de Calibração

Comissionamento em 3 Passos



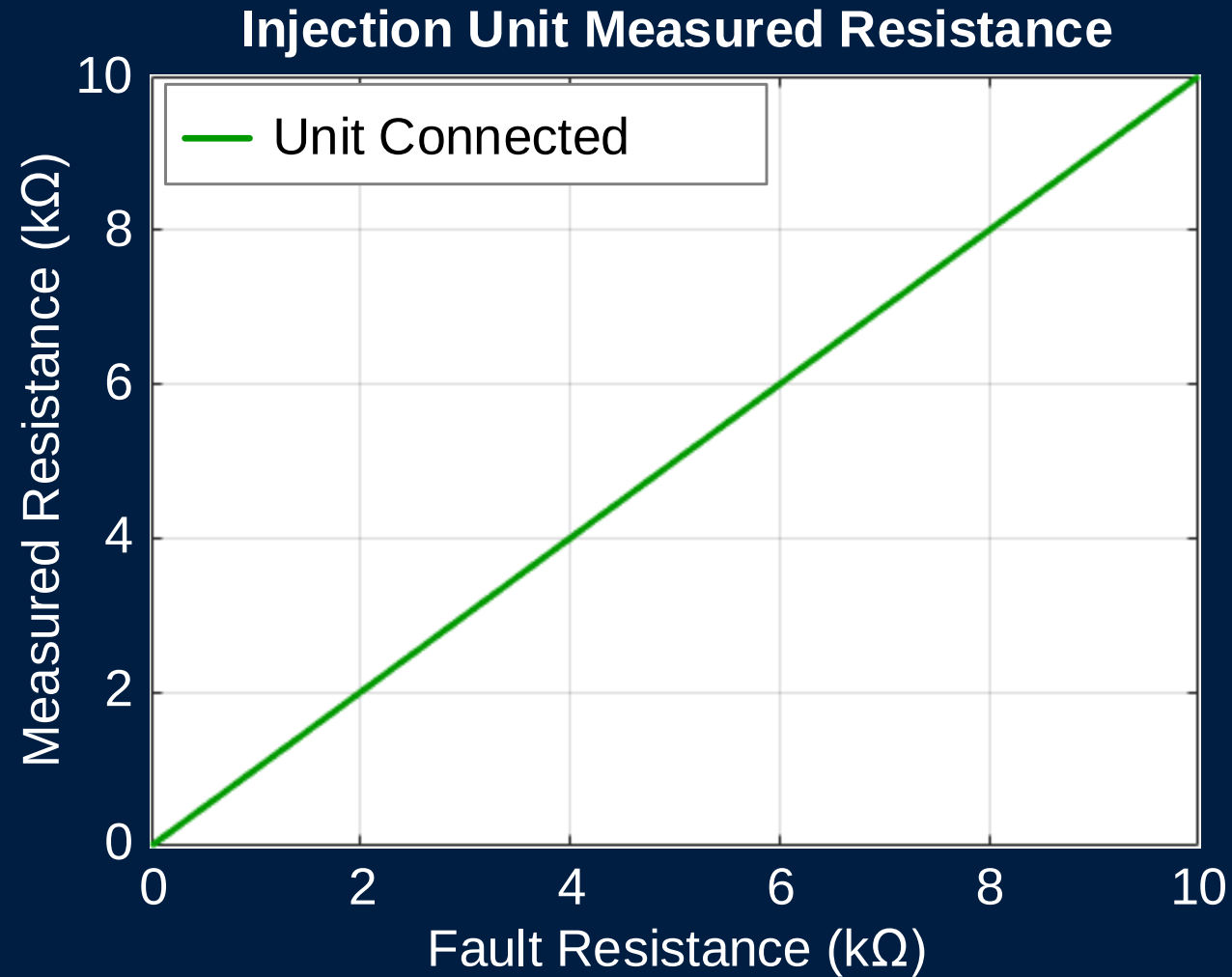
64S – Cálculo Contínuo

Proteção e Monitoramento



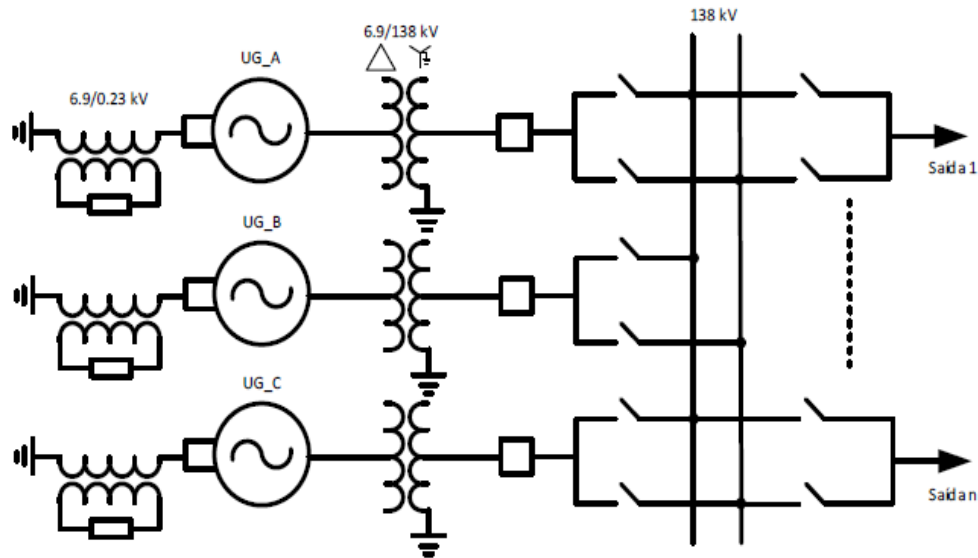
- Resistência de isolamento do estator
- Capacitância de isolamento do estator
- Valor do resistor de aterramento

Resposta Esperada Após Calibração



Experiência em Campo

UHE Fontes Nova

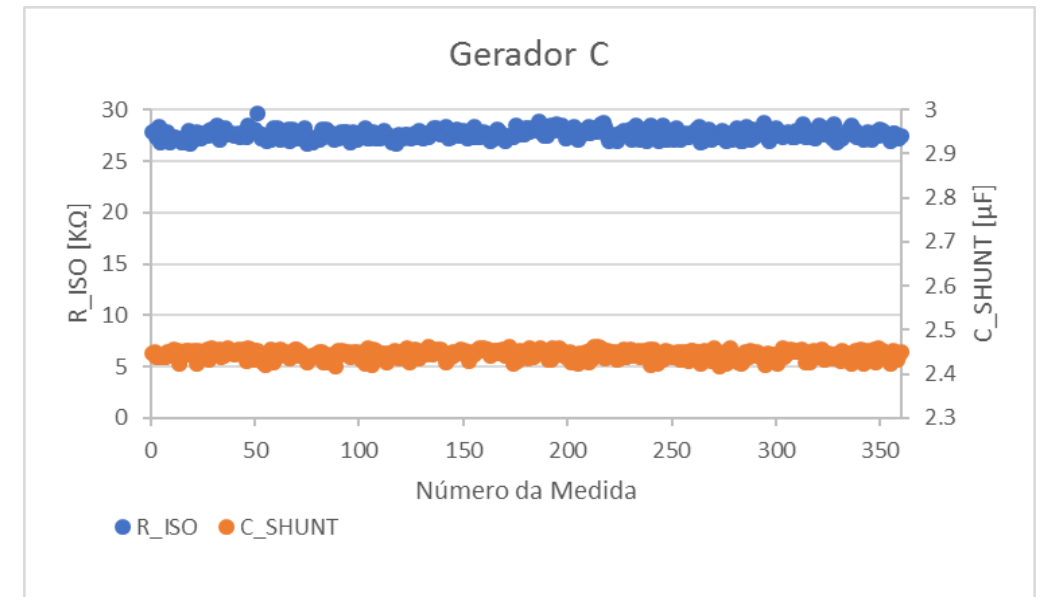
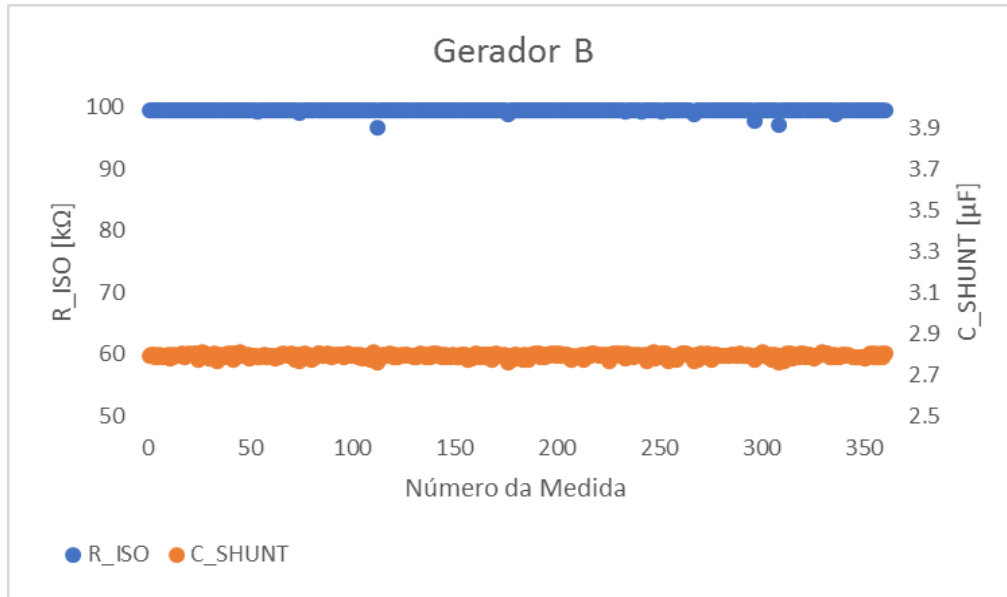


Grandeza	UG A	UG B	UG C
Tensão Nominal	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV
Potência aparente	51,76 MVA	62 MVA	51,76 MVA
Potência ativa	43,97 MW	43,97 MW	43,97 MW
Trafo aterramento	6,9/0,23kV	6,9/0,23kV	6,9/0,23kV
Resistor de aterramento	2 Ω	2 Ω	2 Ω

Experiência em Campo

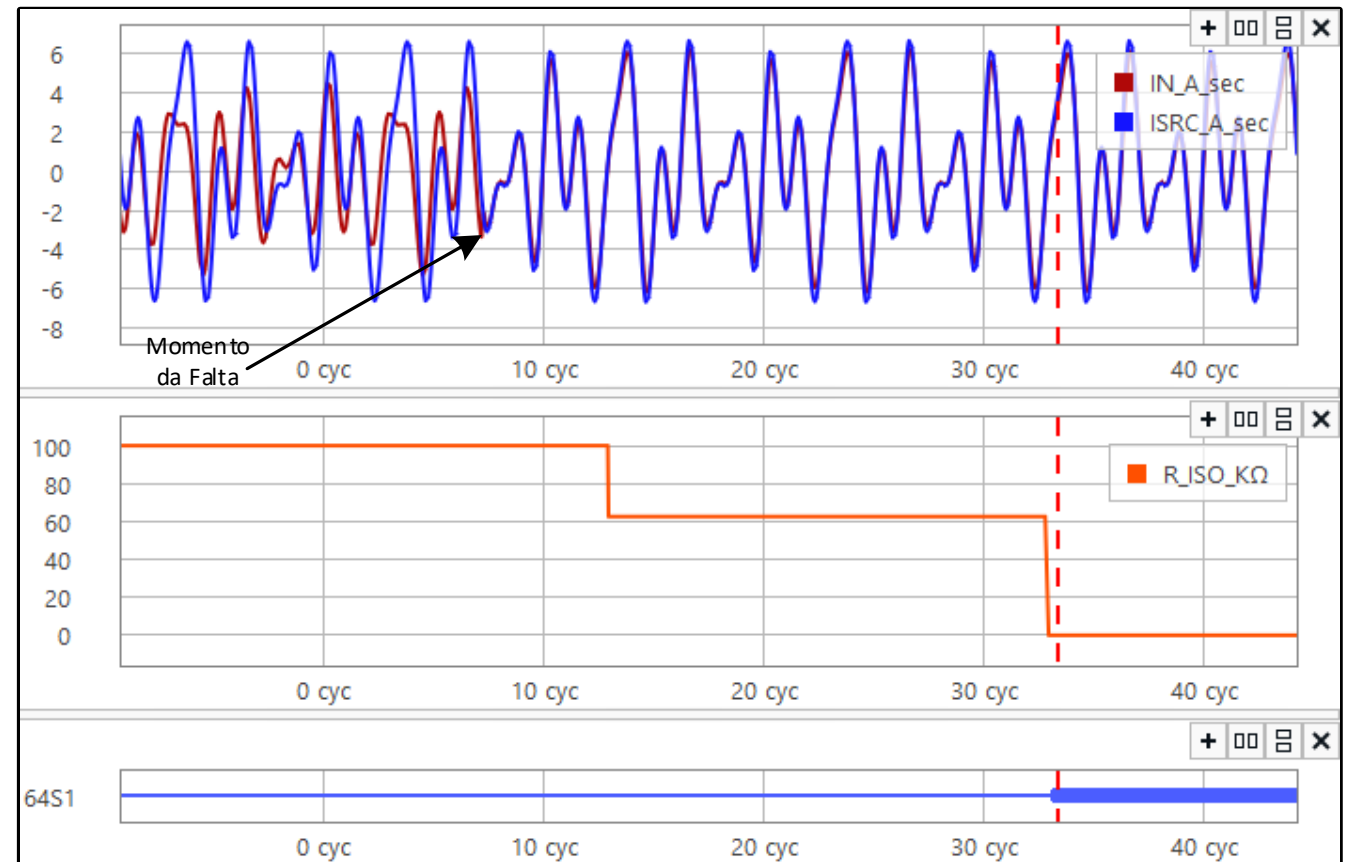
Memória de Massa

- Período de 6 horas
- Registros de 1 em 1 minuto



Experiência em Campo

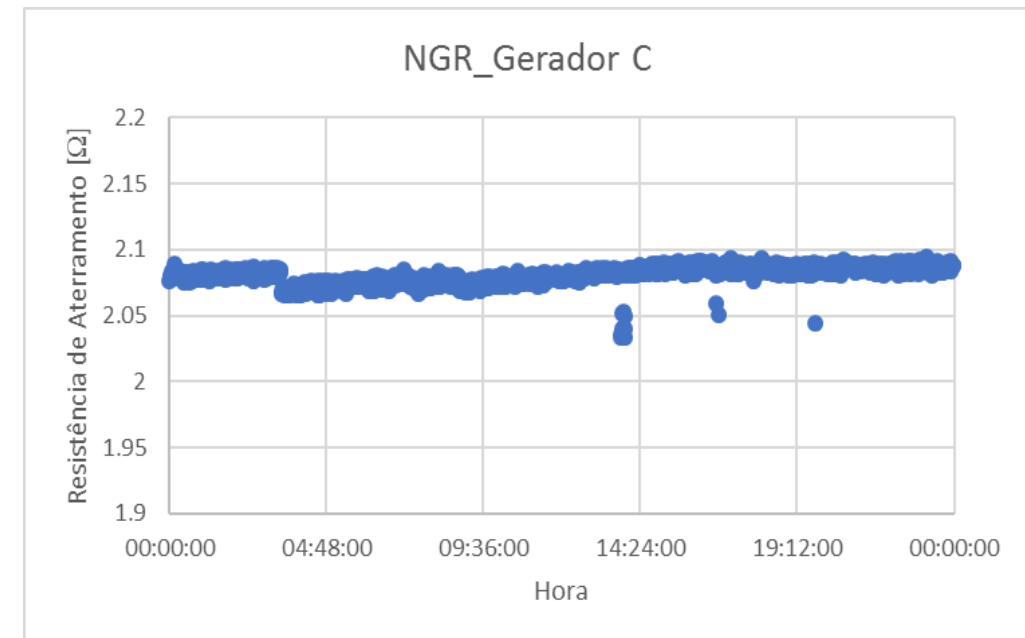
Curto Circuito no Ponto de Neutro



Experiência em Campo

Monitoramento do Resistor de Aterramento

- Importância do monitoramento do resistor
- Limites de circuito aberto e curto-circuito
- Memória de massa registrada por um período de 24 horas
 - Resistor de 2 Ω
 - Em operação
 - Registros de 1 em 1 minuto



Experiência em Campo

Monitoramento do Resistor de Aterramento

- Cubículo de Serviço Auxiliar foi conectado ao terminais do gerador
- Entrou em nível de alarme
- Manutenção confirmou problema no cubículo
- Proteções por 3º harmônico não atuaram

64S
UG C

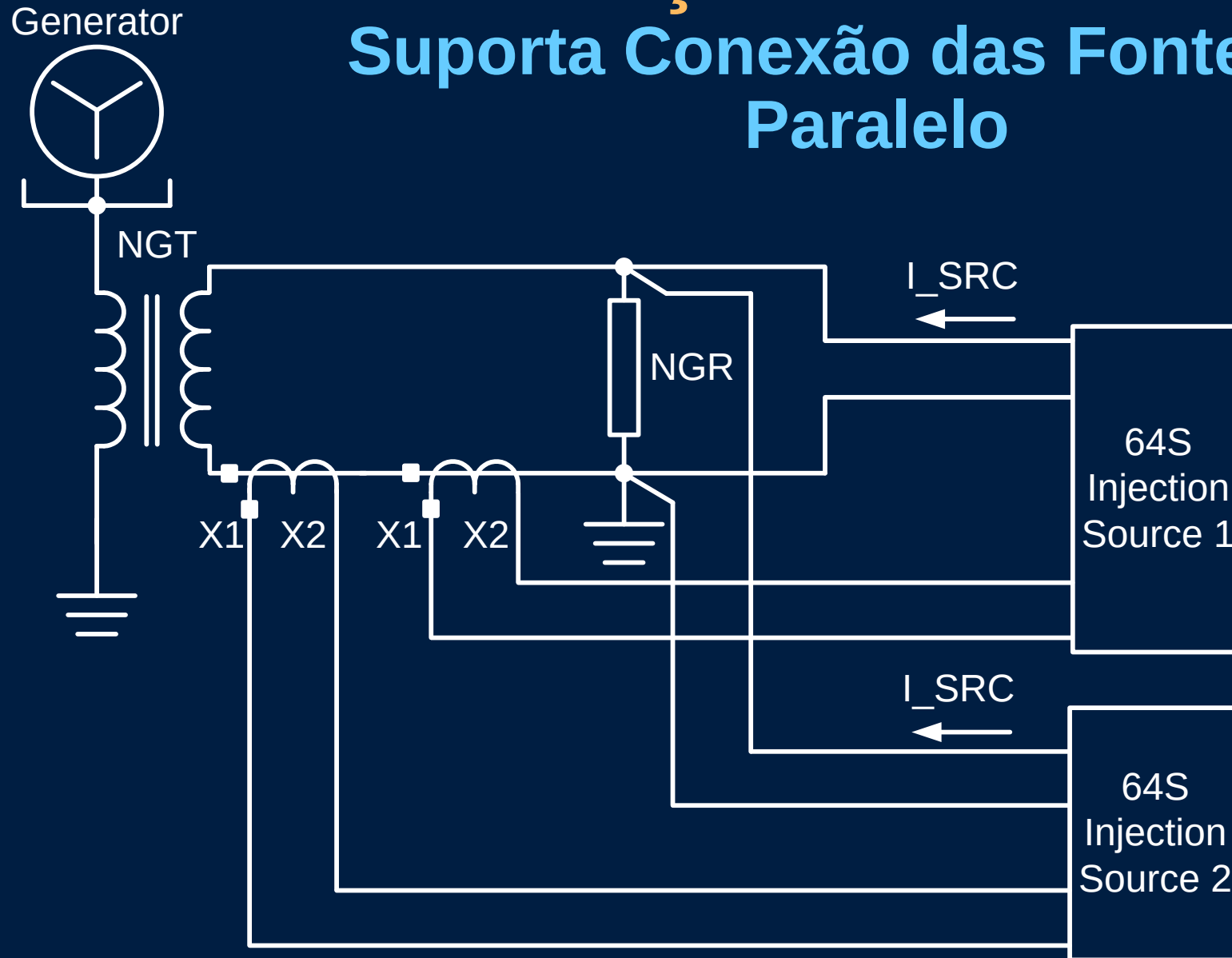
Date: 30/01/2019 Time: 16:30:36.975
Time Source: External

#	DATE	TIME	INS_RES	INS_CAP	FLDRES	MES_NGR	I_SRC	VN3_MAG
3320	28/01/2019	09:11:01.402	10.271	2.669	4764.100	2.069	2.481	6.286
3321	28/01/2019	09:10:01.382	10.143	2.679	4258.400	2.075	2.480	6.313
3322	28/01/2019	09:09:01.298	10.269	2.694	4350.300	2.070	2.481	6.317
3323	28/01/2019	09:08:01.326	10.047	2.693	5201.300	2.083	2.480	6.331
3324	28/01/2019	09:07:01.305	10.020	2.685	4672.000	2.083	2.480	6.331
3325	28/01/2019	09:06:01.308	10.021	2.691	4504.000	2.083	2.481	6.304
3326	28/01/2019	09:05:01.371	9.970	2.687	4779.300	2.088	2.480	6.310
3327	28/01/2019	09:04:01.365	9.622	2.630	5029.200	2.105	2.480	6.278
3328	28/01/2019	09:03:01.313	9.584	2.645	4695.200	2.108	2.480	6.289
3329	28/01/2019	09:02:01.306	29.510	2.503	4903.600	2.083	2.476	6.104
3330	28/01/2019	09:01:01.370	29.635	2.502	4858.400	2.083	2.475	6.118

DATA	HORA	P3X [kW]	S3X [MVA]	VPX3_MAG [V]	VN3_MAG [V]	V3X/V3N
28/01/19	08:45:01	25020.95	25.71	172.19	177.665	0.969183576
28/01/19	09:00:02	25311.2	25.97	173.563	179.29	0.968057337
28/01/19	09:15:01	25214.79	25.87	154.503	183.407	0.842405143
28/01/19	09:30:01	25137.87	25.85	156.808	185.815	0.84389312
28/01/19	09:45:01	25432.24	26.06	155.922	184.449	0.845339362

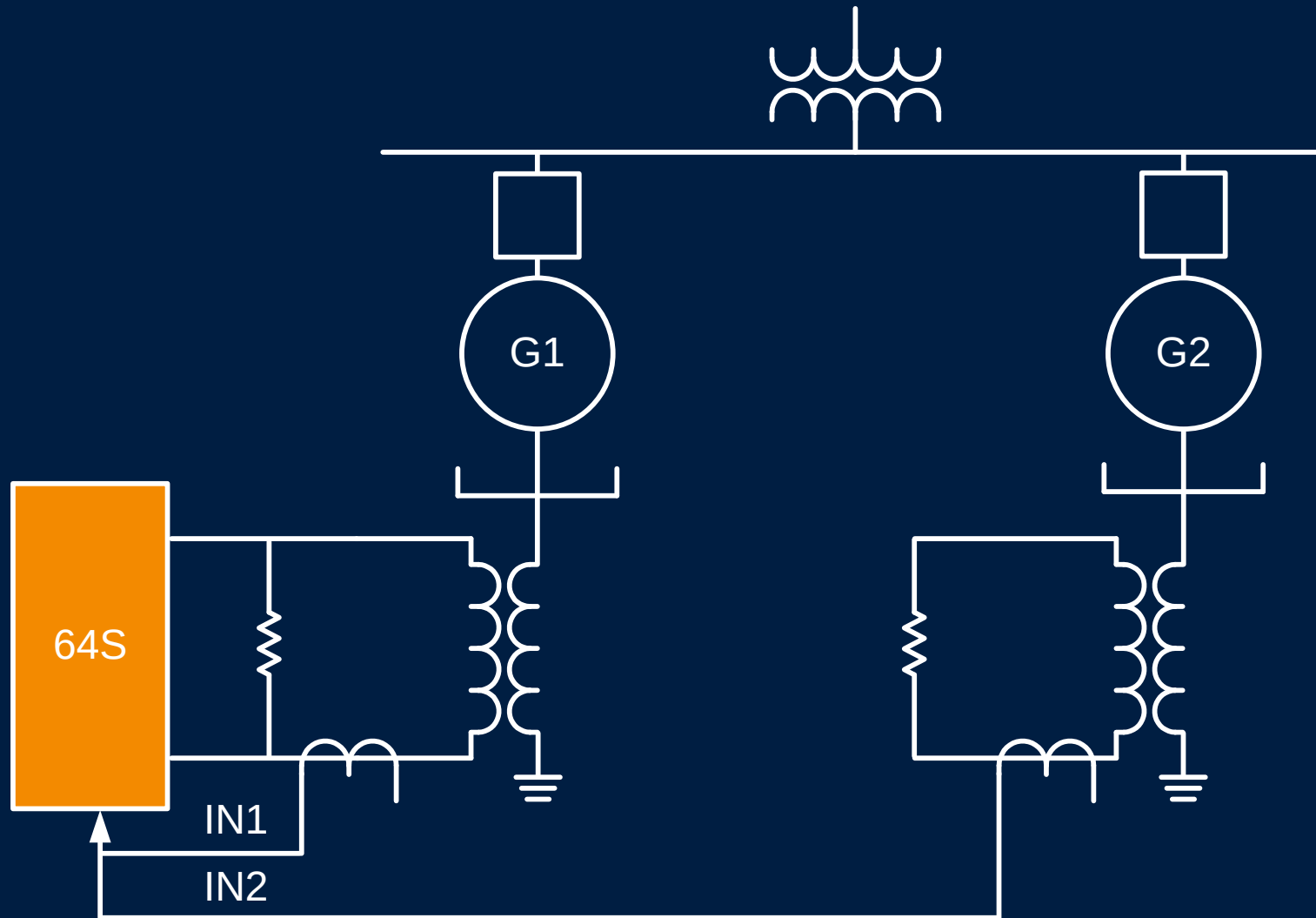
Proteção Redundante

Suporta Conexão das Fontes em Paralelo



Trafo Elevador Compartilhado

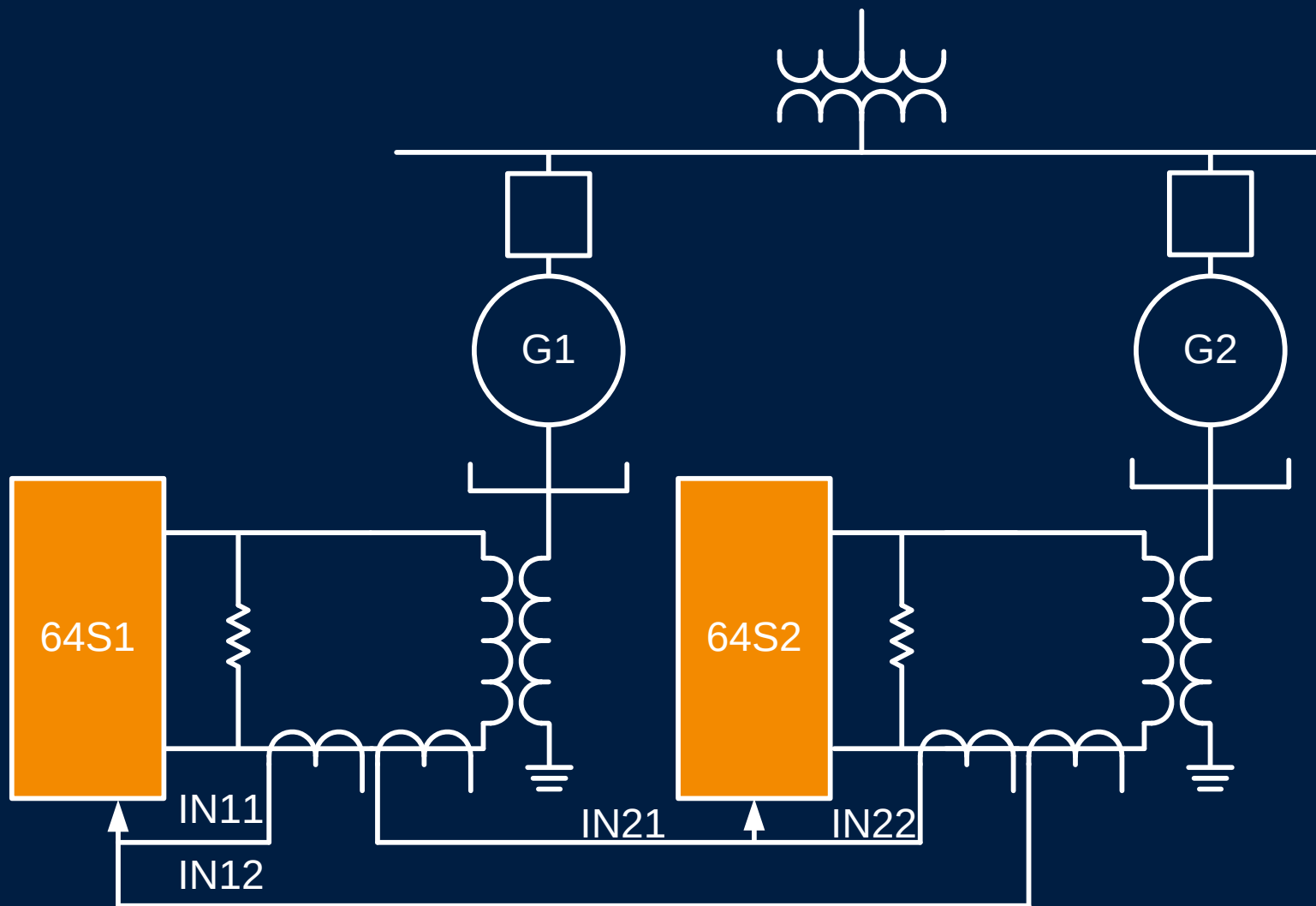
Um Elemento 64S



Trafo Elevador Compartilhado

Dois Elementos 64S

Dois Elementos 64S



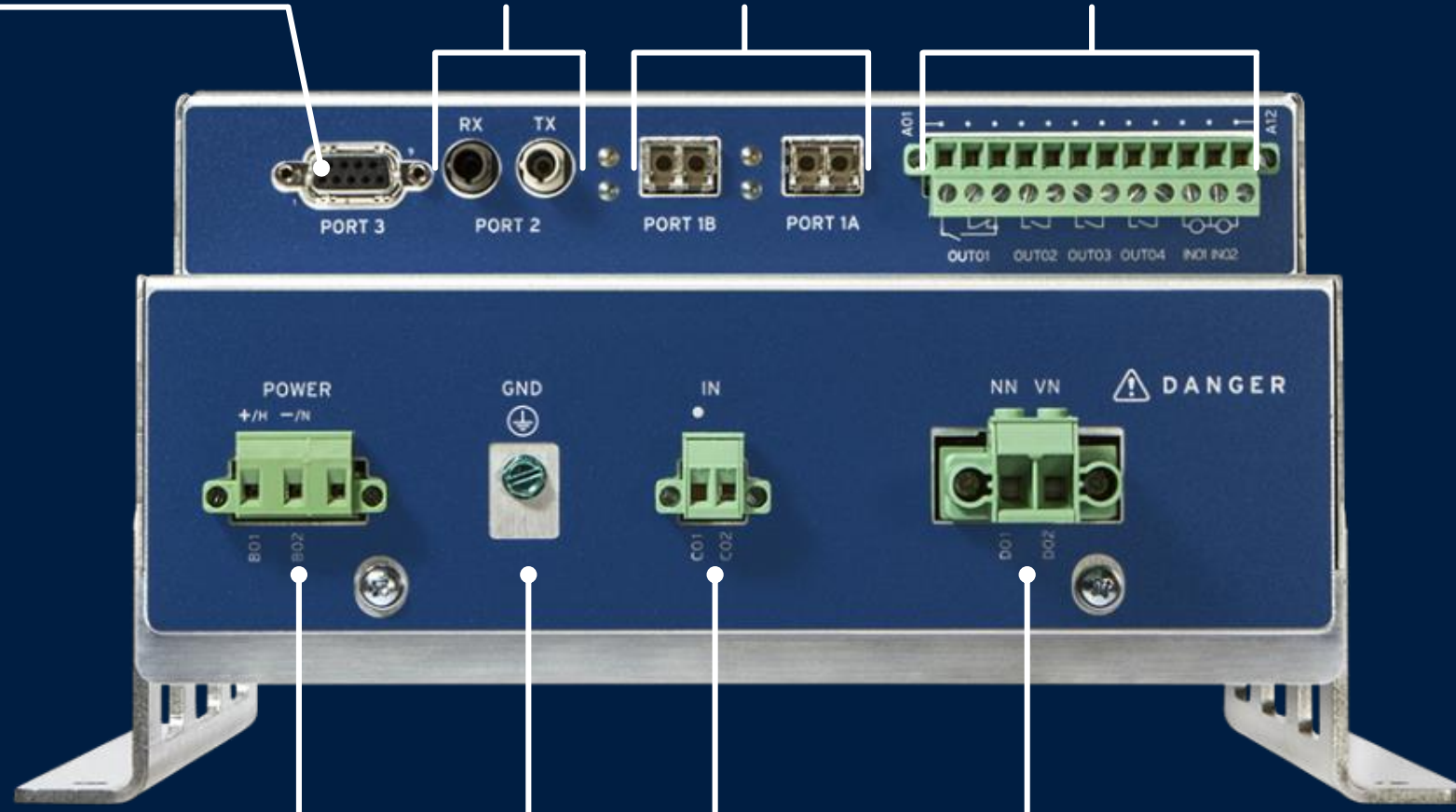
SEL-2664S

Proteção 100% Terra Estator 100% do Tempo



Features

EIA-232 Serial Port Fiber-Optic Port Dual Fiber-Optic Port 2 Digital Inputs
EIA-232 Serial Port Ethernet Ports 4 Digital Outputs



Power Supply Ground Terminal Terminal Current In Neutral Voltage VN /
Injection Source (I_SRC)

Only in the Market – Communications Protocols, HMI, and Event Reporting

- Protocol options – fiber Ethernet, fiber serial, serial EIA-232, SEL ASCII, MIRRORED BITS[®] communications, Modbus[®], DNP3, IEC 61850
- HMI with 8 LEDs and pushbutton for target / trip reset
- Event reporting for 64S and 59N

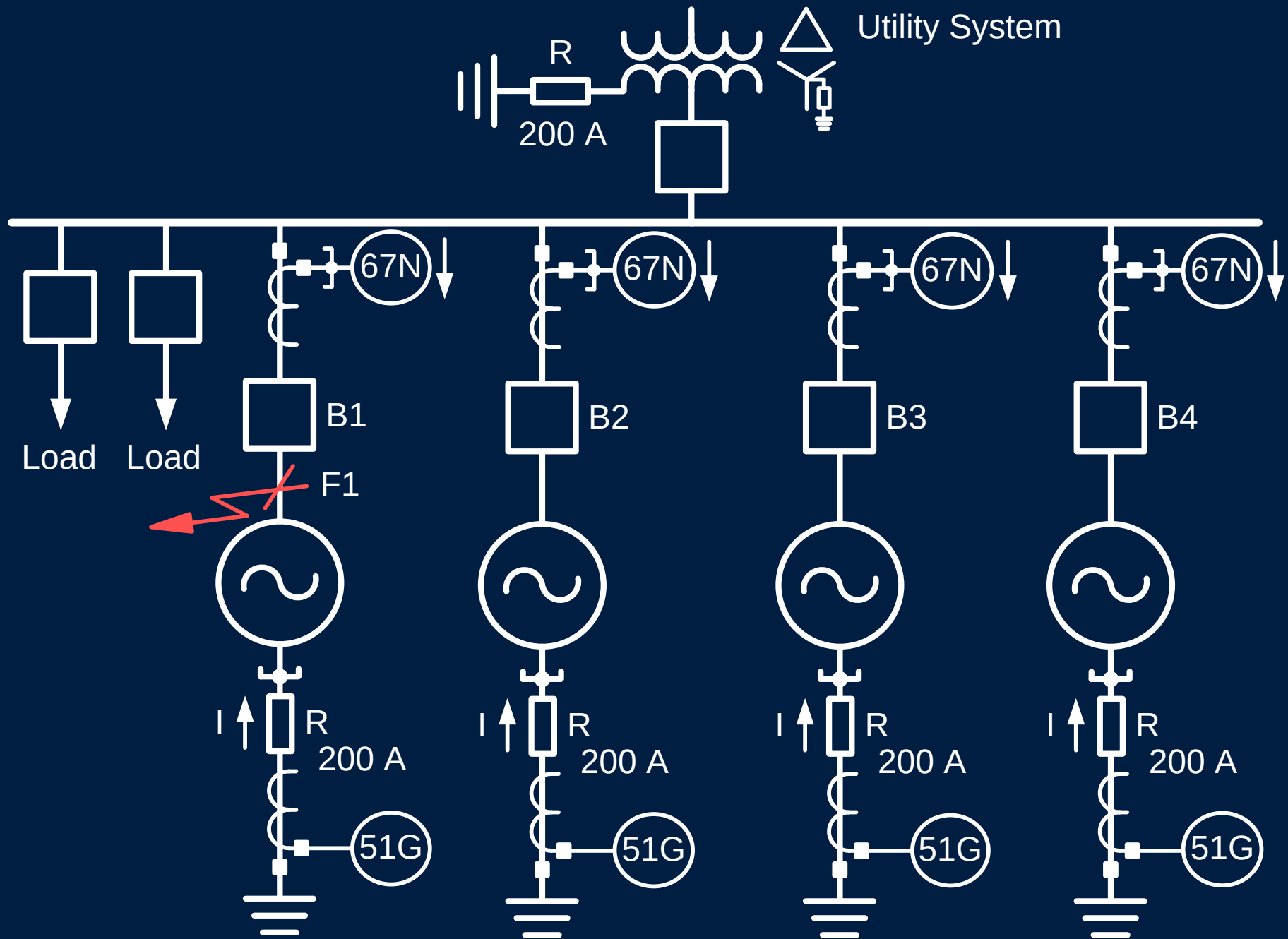
Conclusões

- Injeção e medição em um único dispositivo apresenta vantagens
- Sinal de injeção multi-frequência
- Processo de calibração
- Monitoramento contínuo
 - ♦ Parâmetros do gerador
 - ♦ Resistência de aterramento

Proteção de Geradores Aterrados por Baixa Impedância

Funções de Proteção

- Proteção de backup de neutro (51G)
- Direcional de neutro (67N)
- Diferencial de neutro (87N)
- Falta restrita à terra (REF)



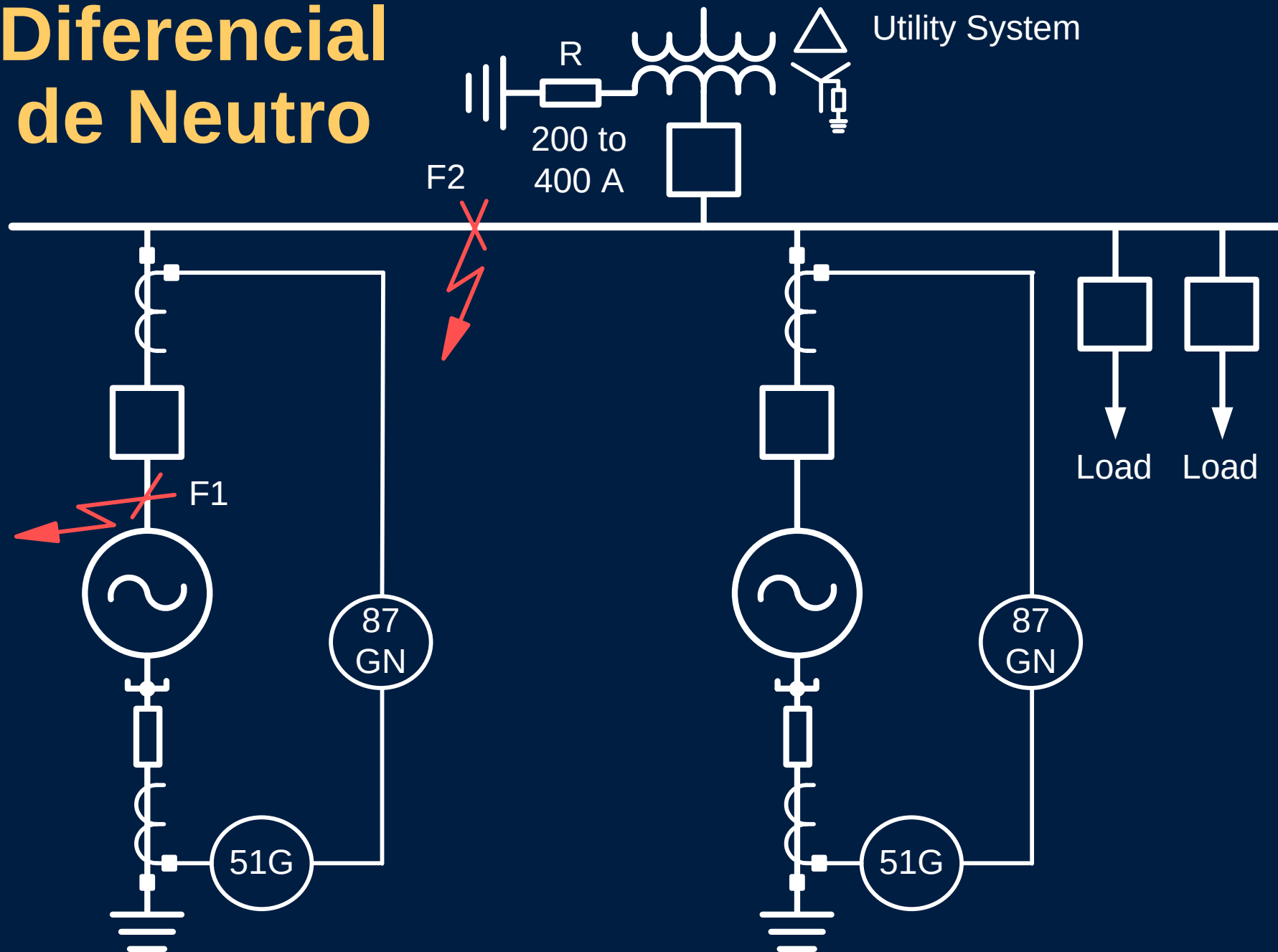
Direcional de Neutro (67N)

- Ajustar pickup acima do desbalanço
- Adicionar um pequeno delay para segurança quando há saturação de TC

Proteção de Backup

- Elemento 51G
- É preciso coordenar com a proteção do sistema para que o elemento seja seguro e confiável
- Provê proteção durante startup, quando o gerador ainda não está sincronizado no sistema

Diferencial de Neutro



Lógica do 87N

SELogic® Control
Equation Setting

87NTC

Relay
AC Inputs

IA

IB

IC

IN

Settings

87N1P

87N2P

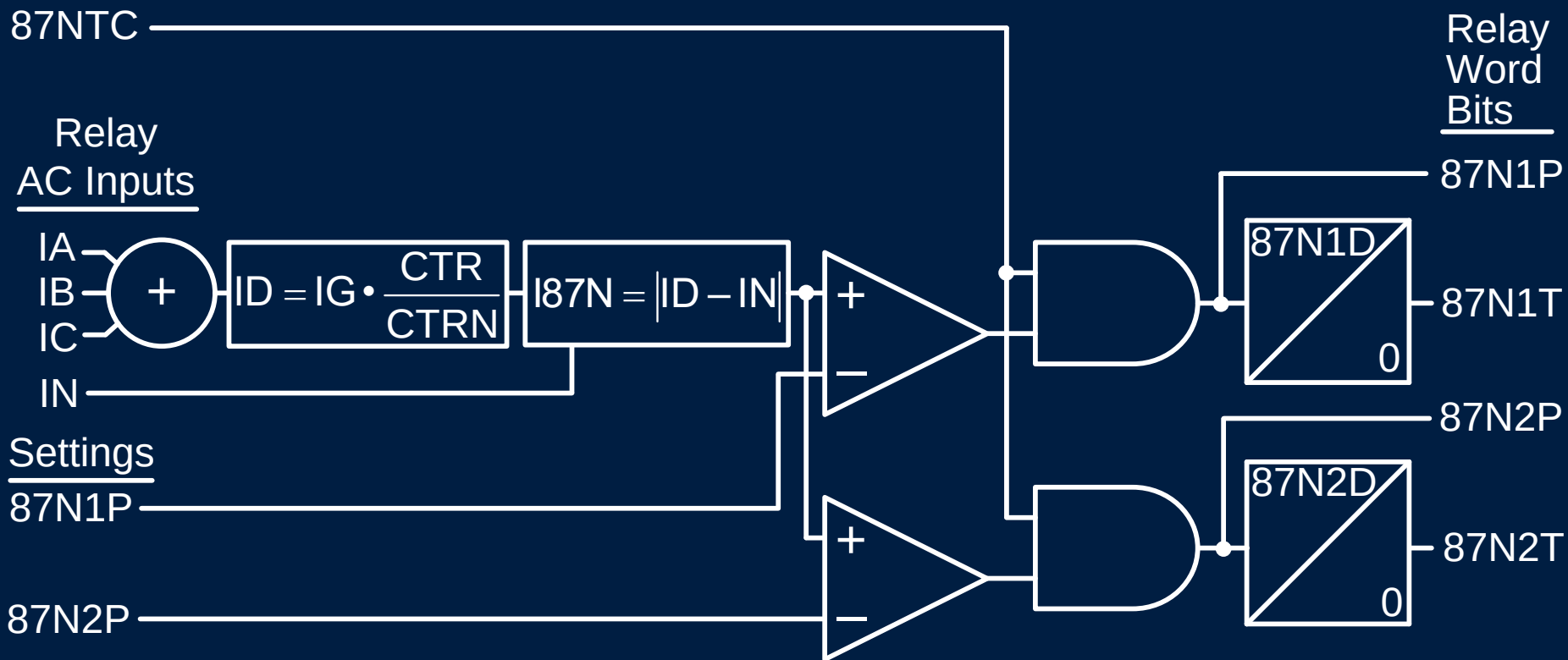
Relay
Word
Bits

87N1P

87N1T

87N2P

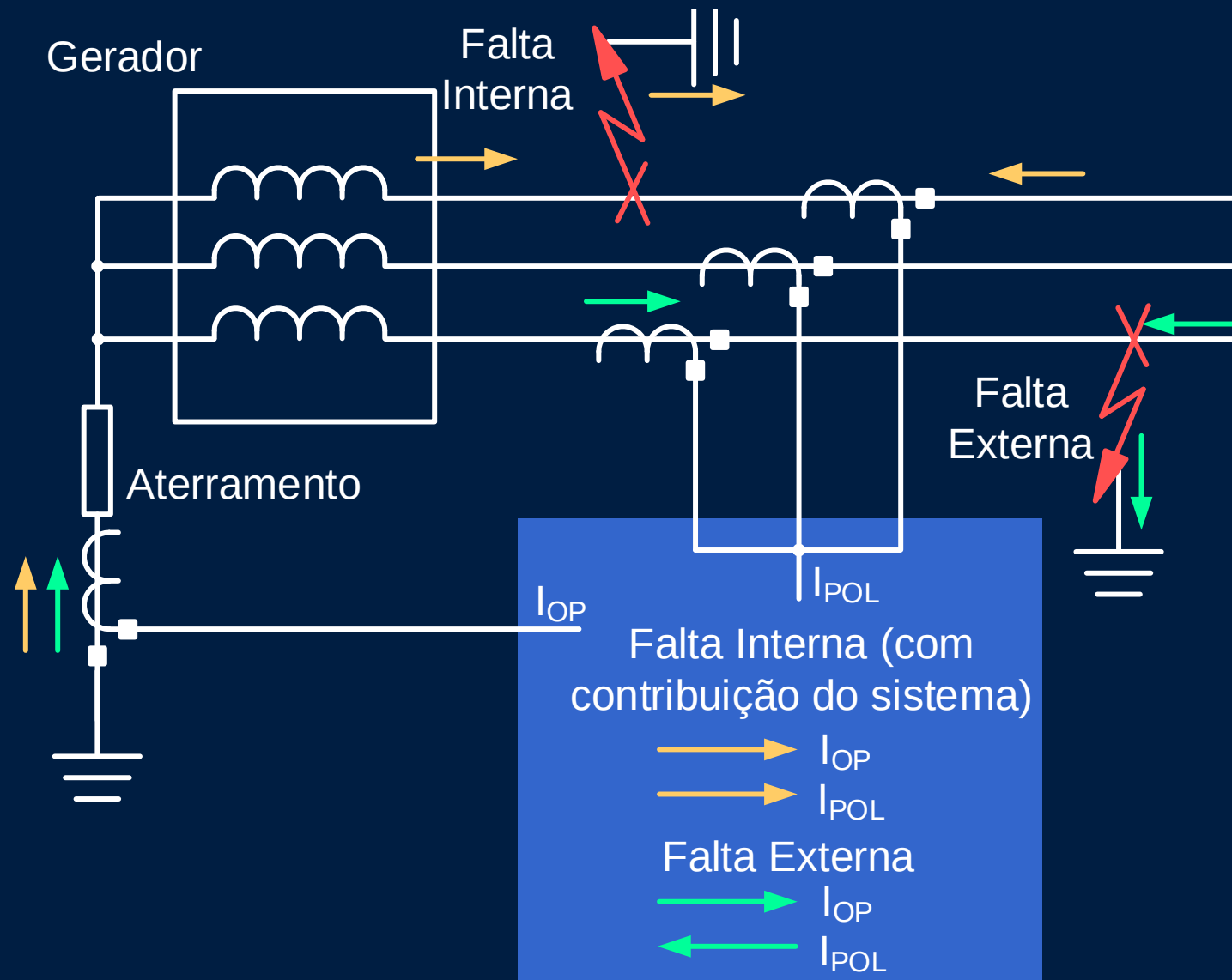
87N2T



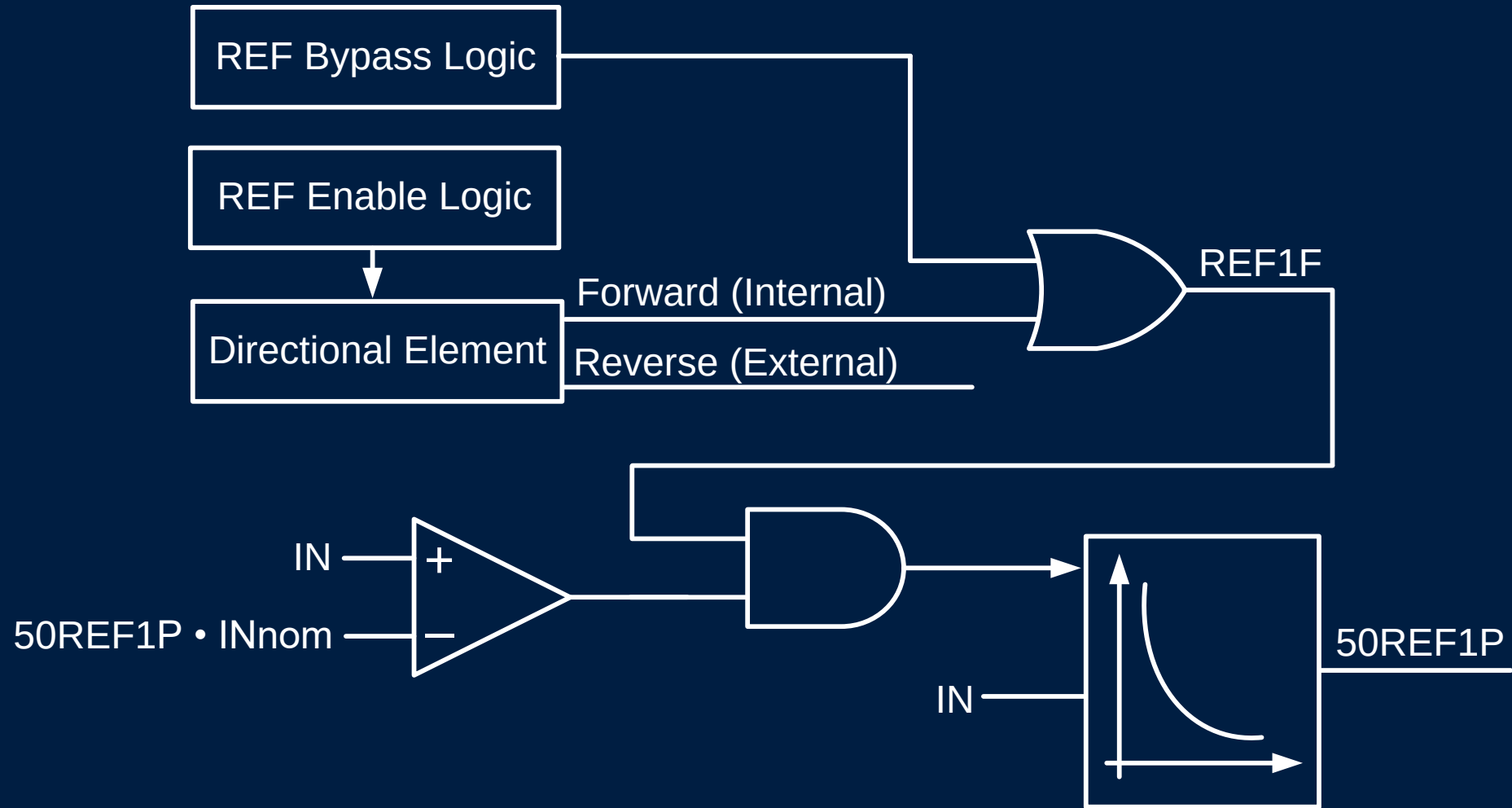
87N

- Aplicar com cautela
- Saturação de TC cria falsa corrente diferencial
- Utilizar TCs adequados, baixo burden
- Utilizar elementos de tempo definido
- Adicionar check de segurança
 - ◆ 87N1T*50N1 (exemplo)
 - ◆ Evita atuação quando não há corrente no neutro (IN) mas há 3I0 por saturação

Falta à Terra Restrita – REF



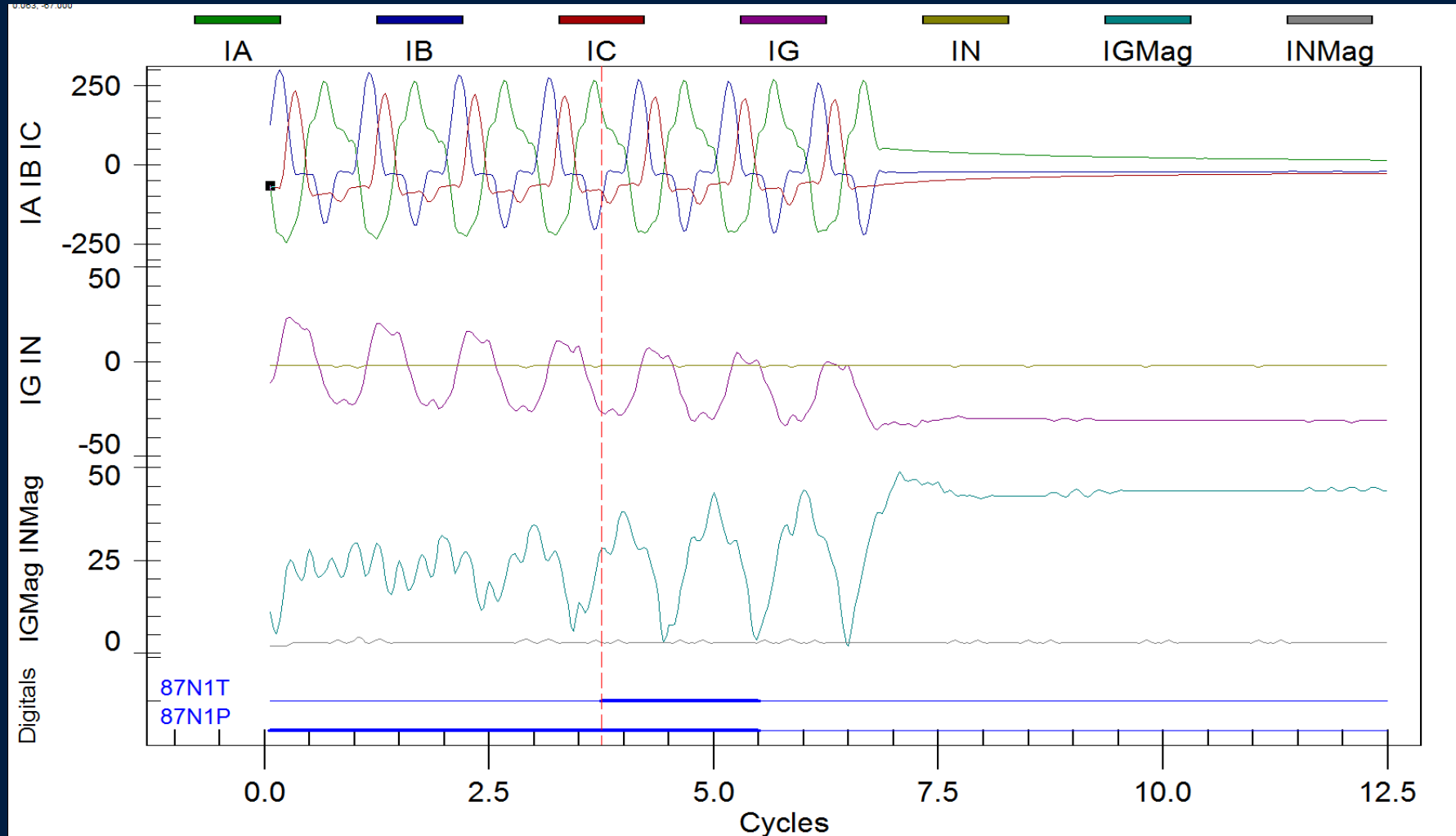
Lógica do REF



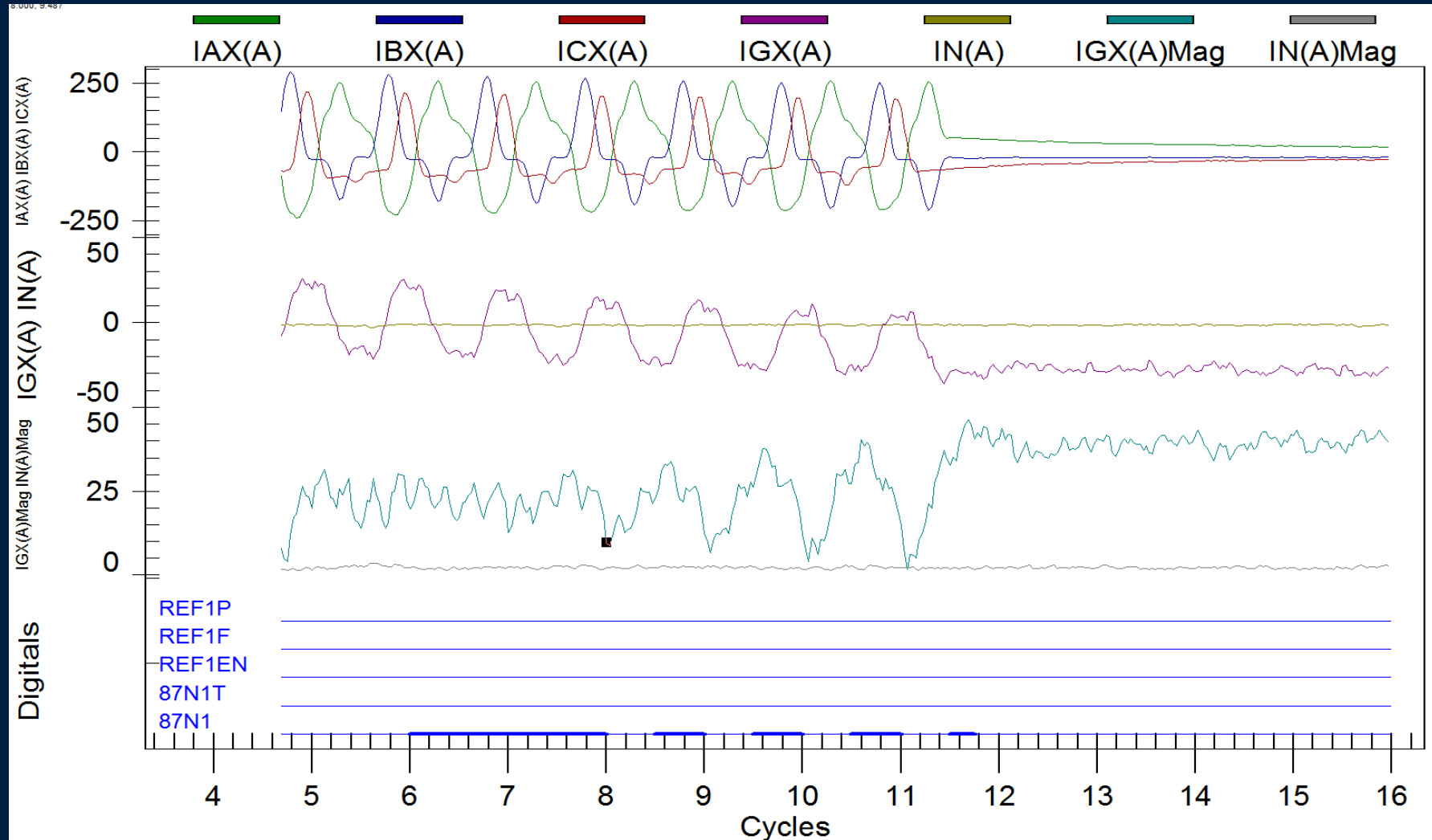
REF

- Imune à saturação de TC
- Melhor opção que 87N
- Pode ser ajustado com maior sensibilidade

87N – Operação Indevida

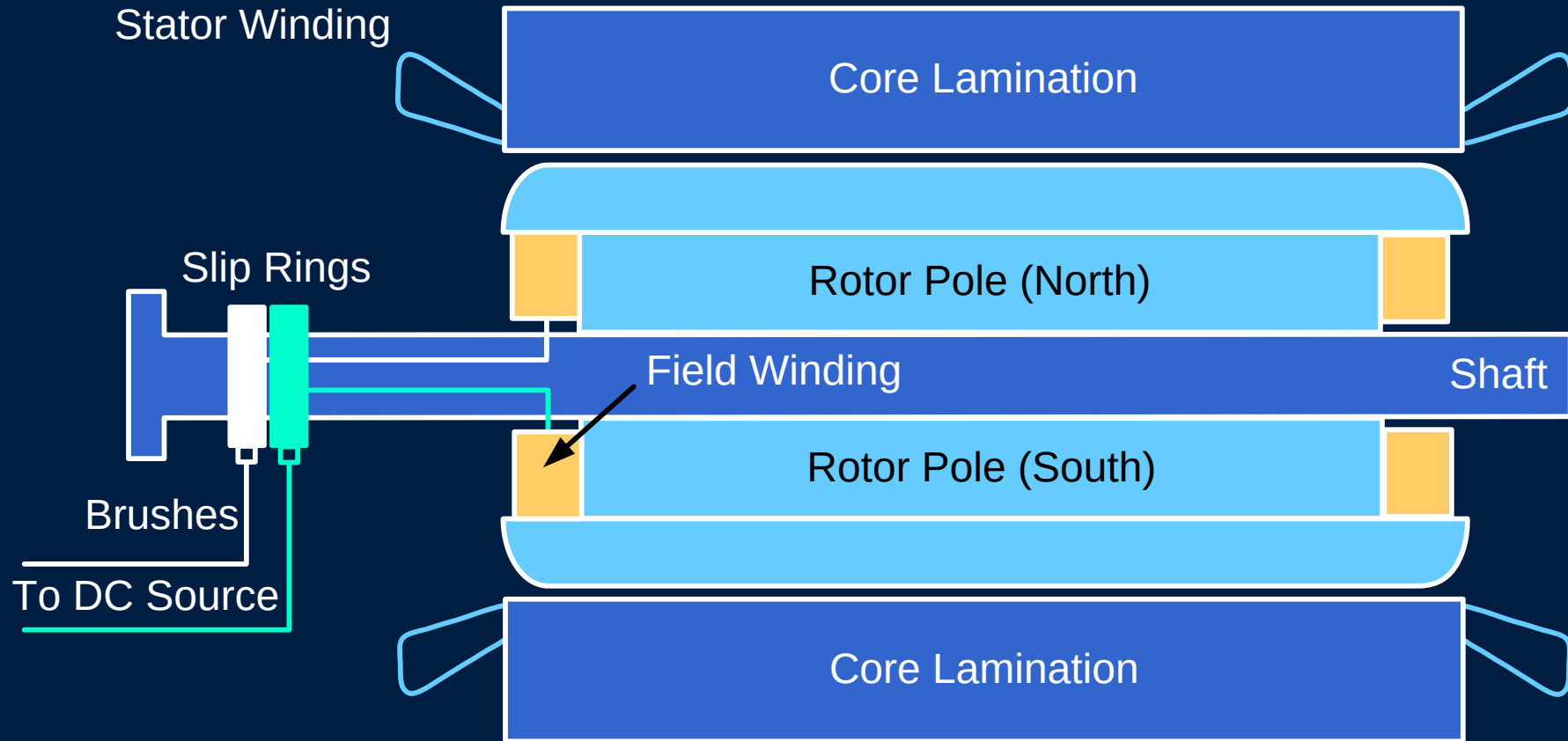


REF – Segurança Durante Saturação



Proteção para Faltas à Terra no Circuito de Campo

Máquinas do Tipo Brush



Estratégias de Proteção

- Detectar o primeiro defeito para terra
- Desligamento do gerador
 - ♦ Imediatamente após detecção
 - Trip DJ principal e DJ de campo
 - ♦ Alarme (operador decide quando desligar)
- Realizar reparos

Métodos de Detecção

Máquinas com Escovas

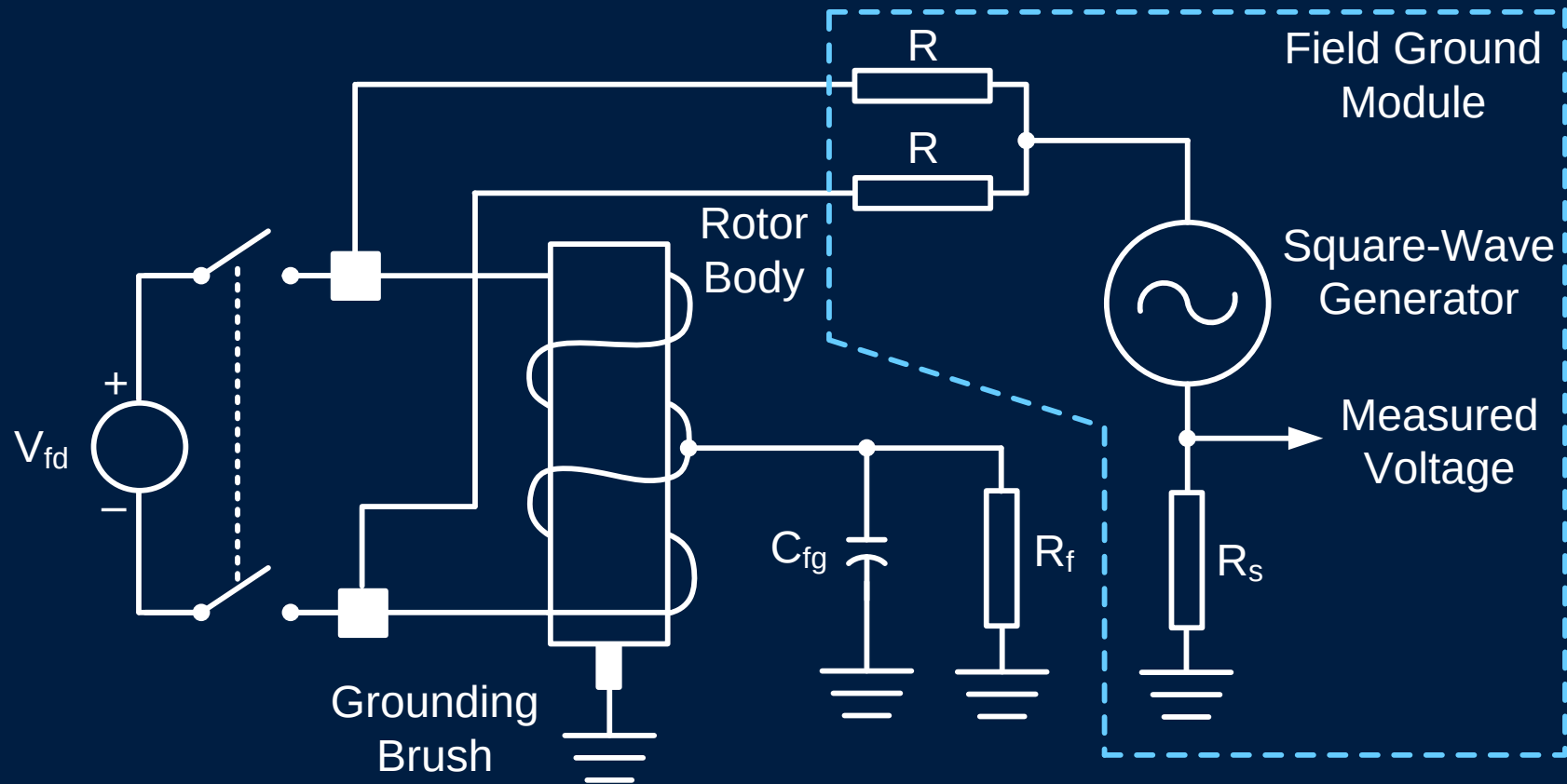
- Divisor de tensão
- Injeção DC
- Injeção AC
- Injeção DC chaveada

Métodos de Detecção

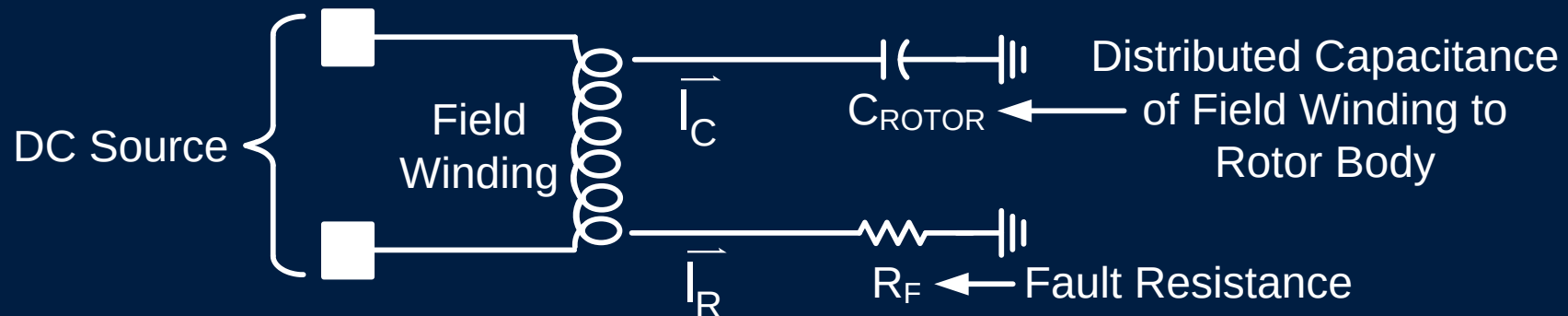
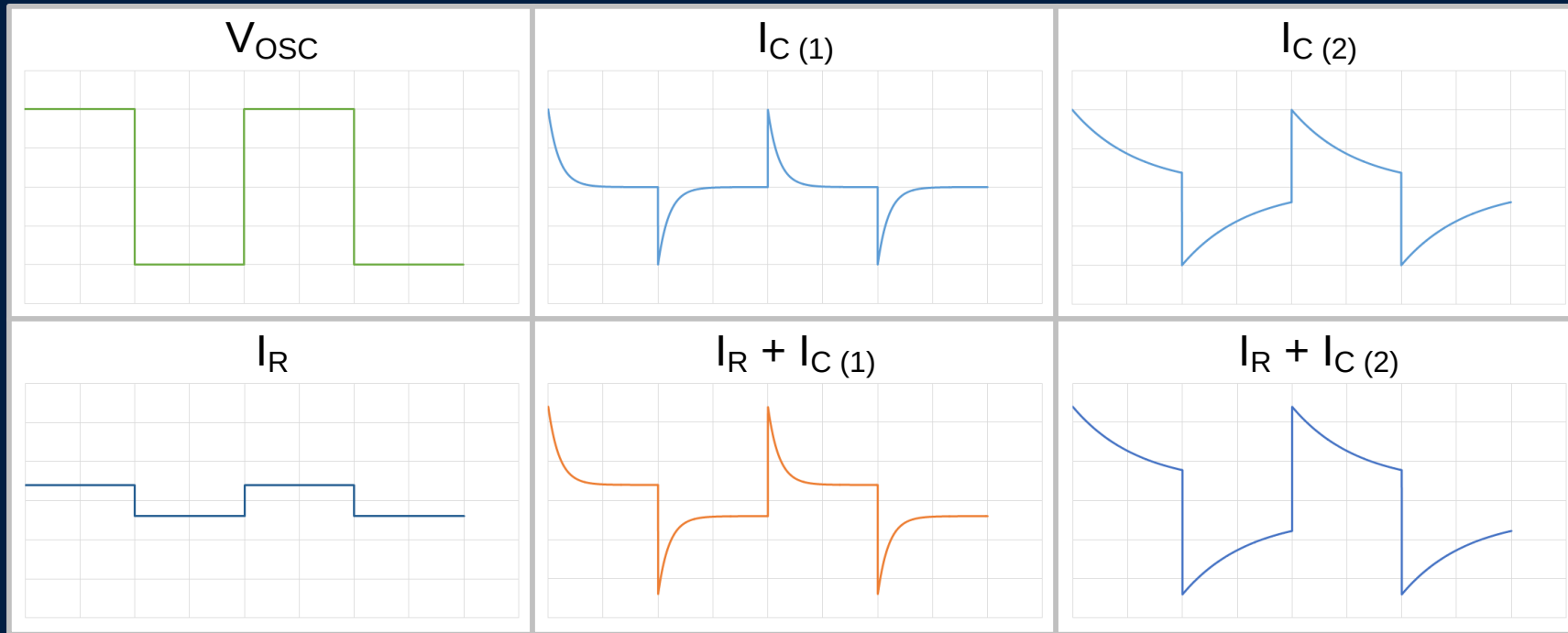
Máquinas com Escovas

- Divisor de tensão
- Injeção DC
- Injeção AC
- Injeção DC chaveada

Método de Injeção DC Chaveada



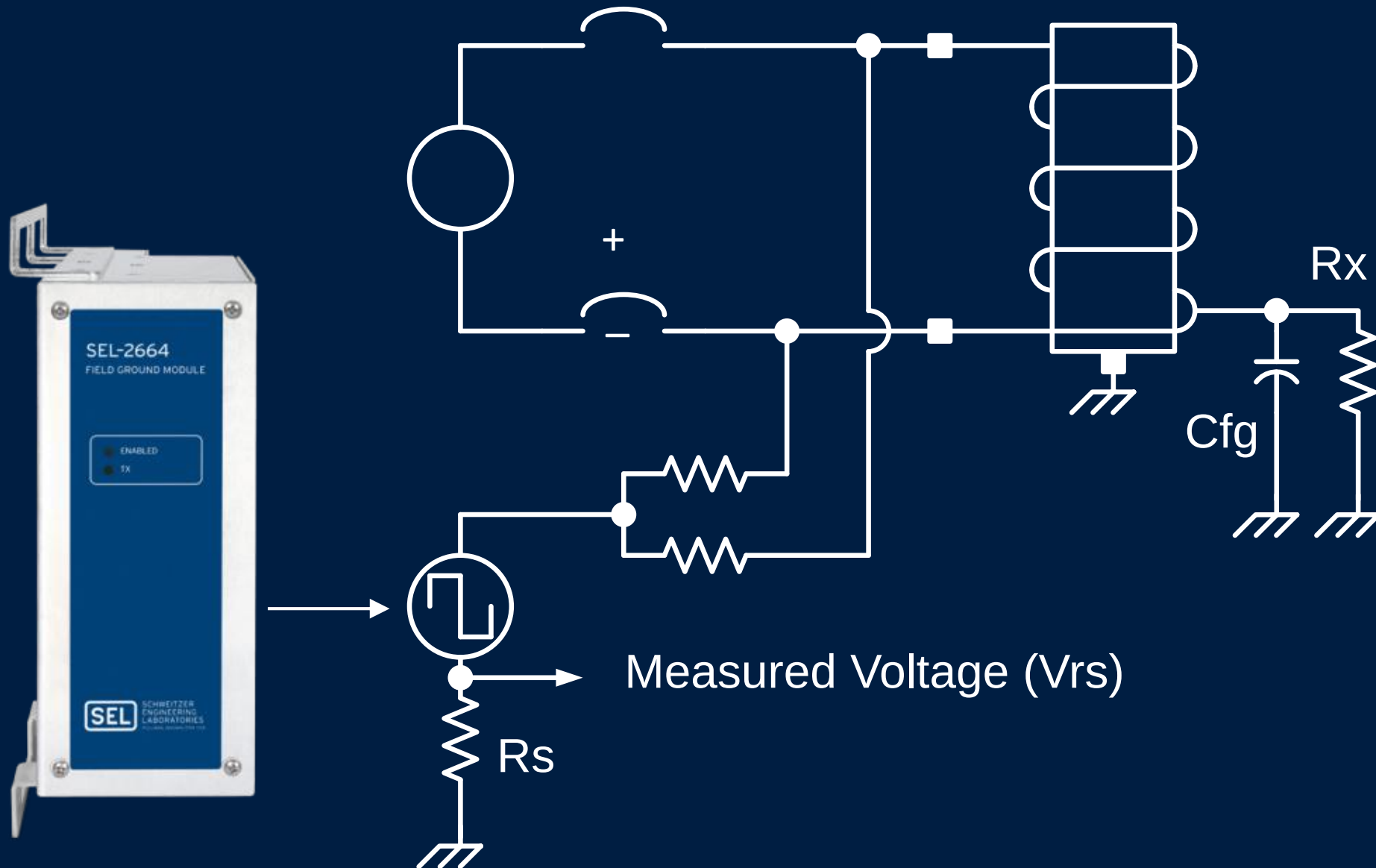
Característica da Corrente



Selação da Frequência de Chaveamento

Field-to-Ground Capacitance C_{fg} (μ F)	Jumper Position (Jumper 1A)	Injected Signal Frequency F_g (Hz)	Time Between Insulation Resistance Calculations (s)
$C_{fg} < 2.5$	Close	1	0.5
$2.5 \leq C_{fg} \leq 10$	Open	0.25	2
$C_{fg} > 10$	Open	0.25	2

Proteção Terra-Rotor SEL-2664



Faltas Entre Espiras no Circuito de Campo

- Causa problemas graves para o gerador
 - ◆ Alta vibração
 - ◆ Pode levar a faltas à terra (um ou mais pontos)
 - ◆ Perda de excitação
- Atualmente não existe proteção elétrica
- Detecção por métodos indiretos
 - ◆ Temperatura
 - ◆ Vibração

SEL-700G

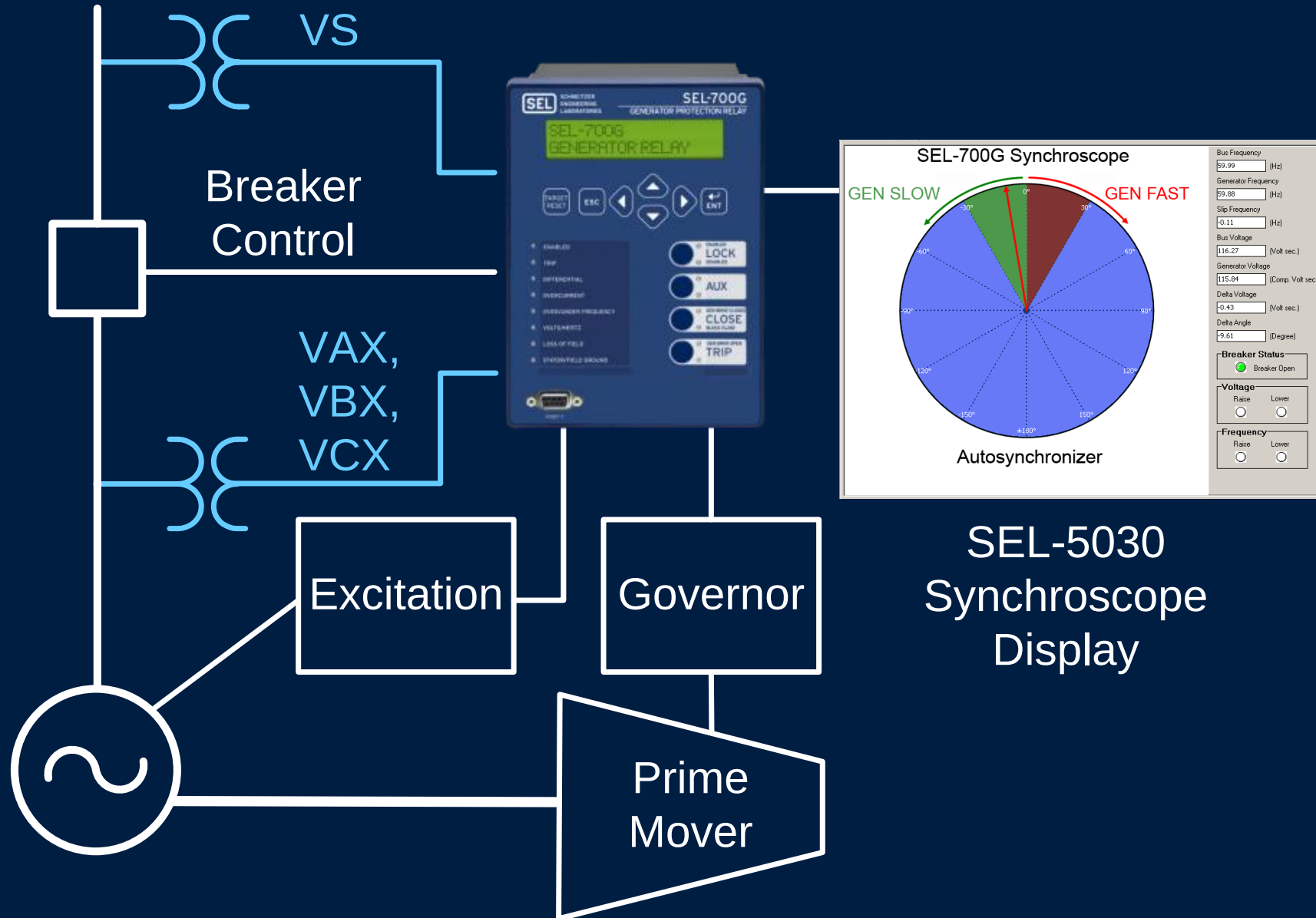


SEL-700G

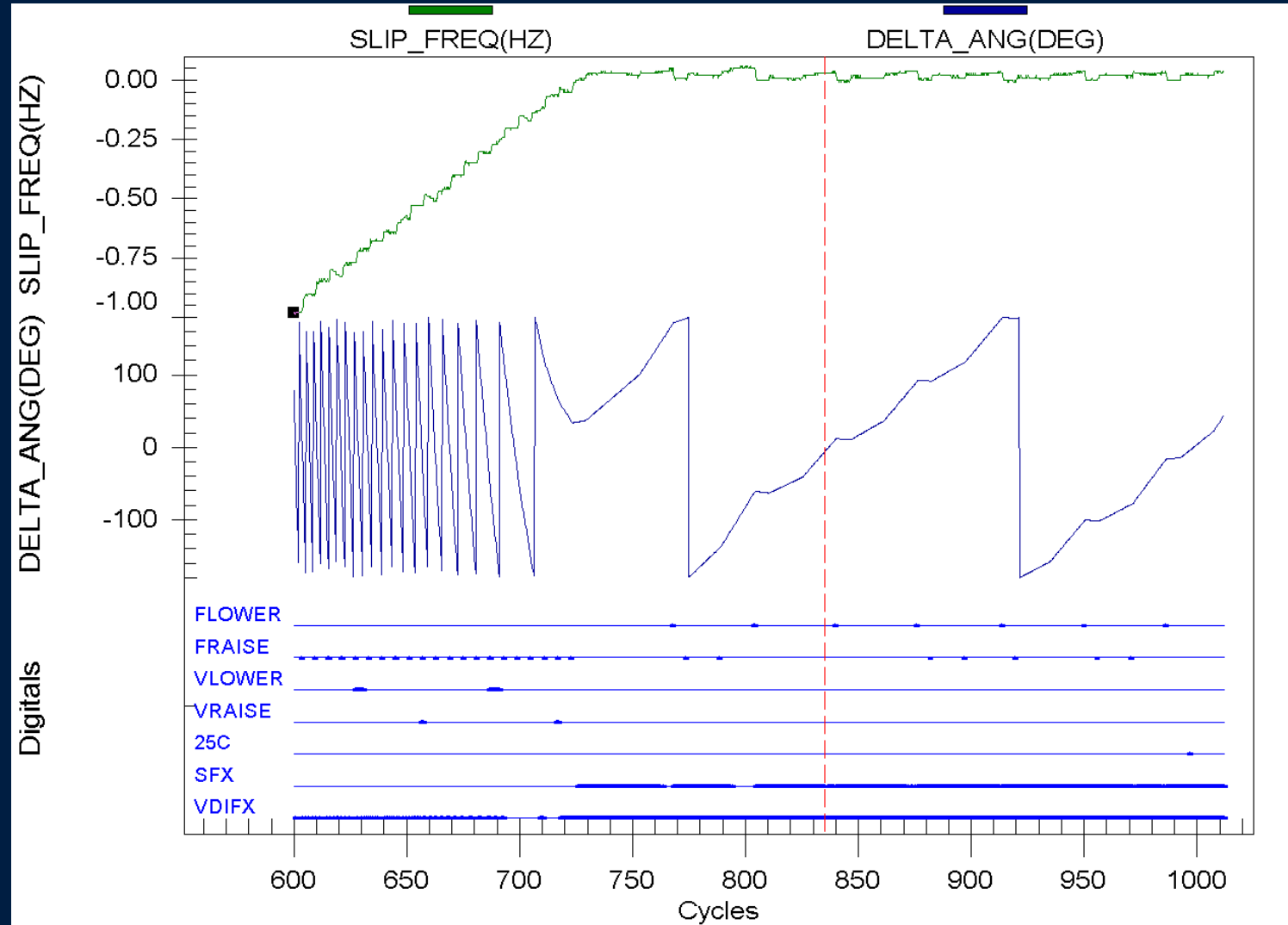
- Alimentação
- Comunicação
- Simples ou dual, sobre ou fibra óptica
- Cartões de expansão
- Correntes e tensões



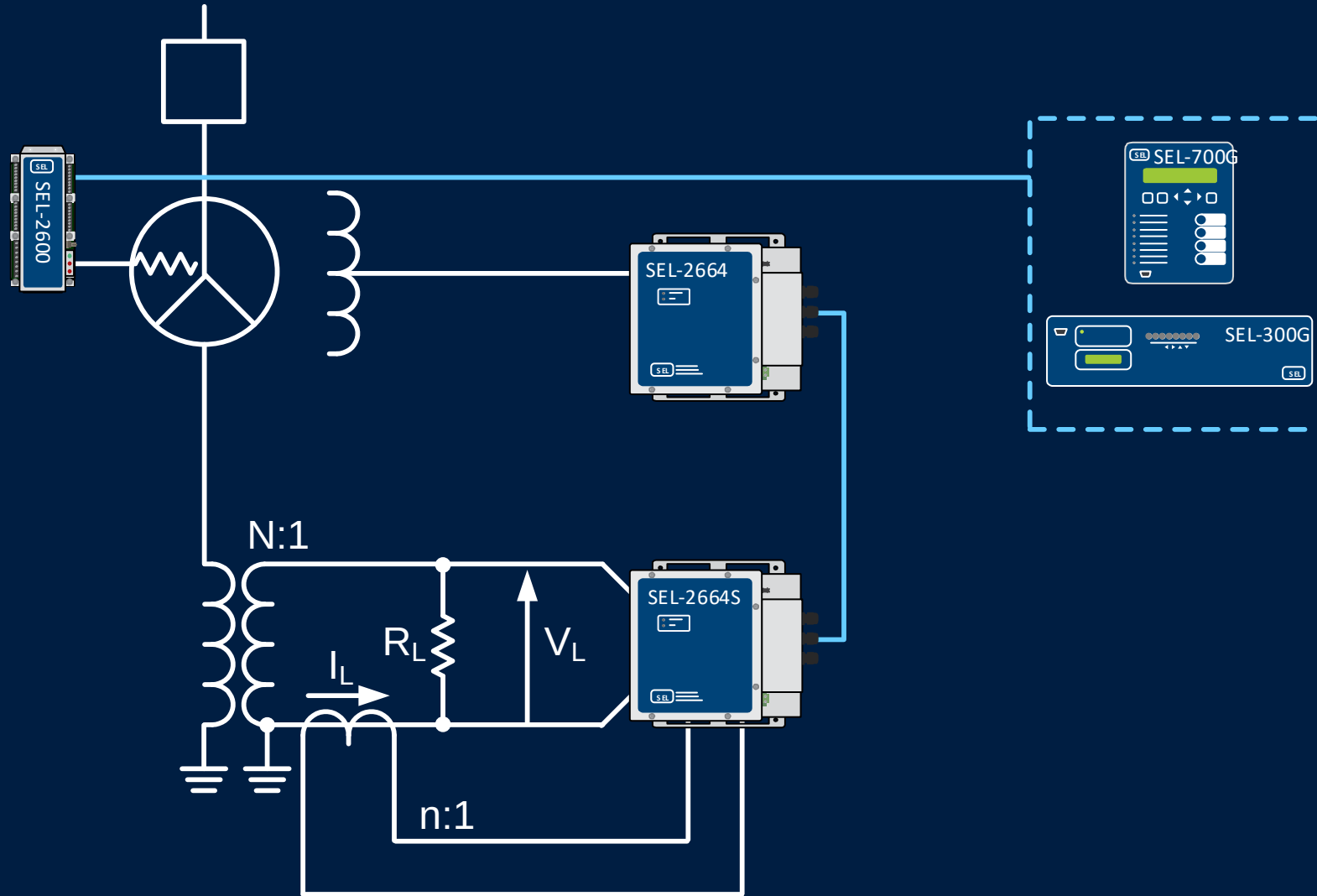
Sincronização Automática



Oscilografia Exclusiva



Exemplo de Aplicação



Perguntas?

