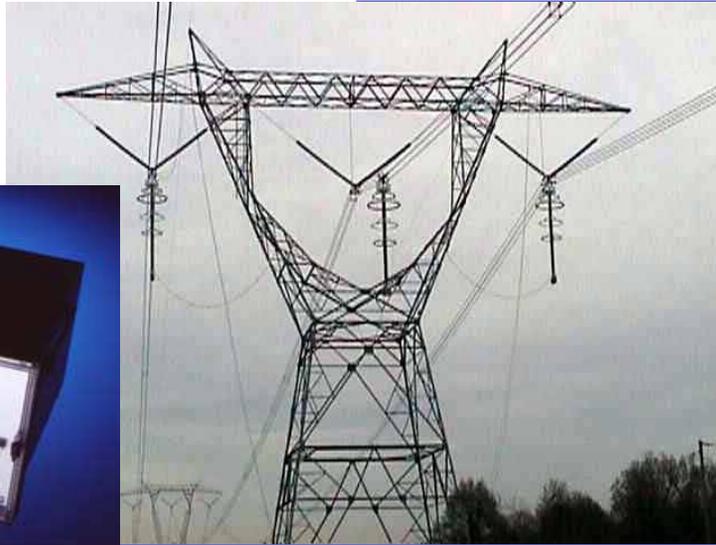


Relé de Sincronismo

Promotor de Power Quality em T&D



André R. Totti

andre.totti@br.abb.com

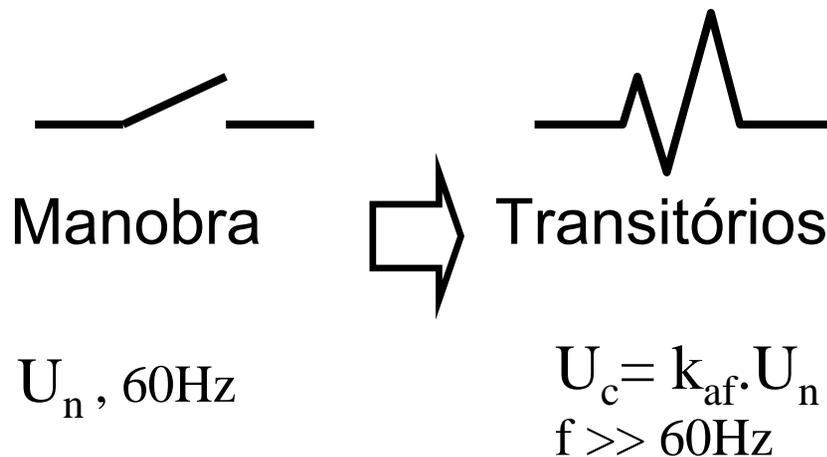
(11) 6464-8195



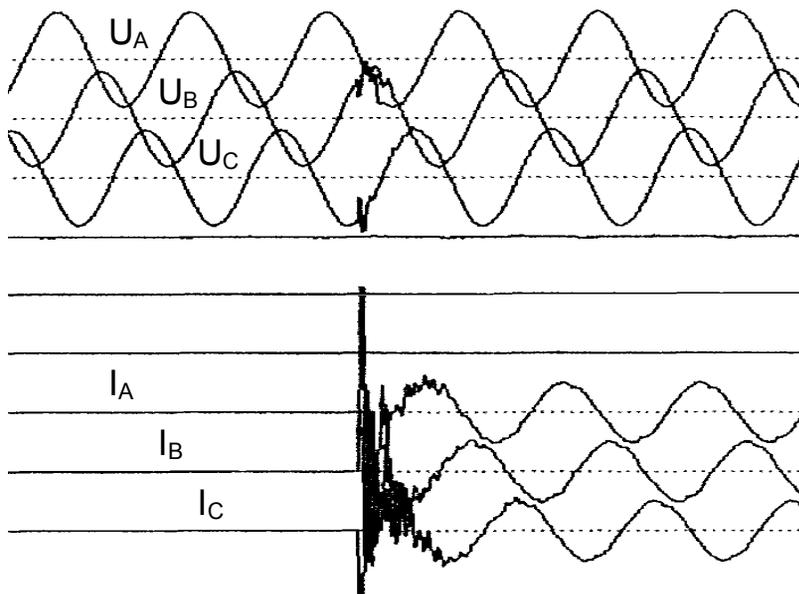
Relé de Sincronismo: Power Quality em T&D

A **qualidade de energia** é afetada quando os parâmetros de tensão ou corrente são distorcidos:

- **Frequência**
- **Amplitude**
- **Harmônicos**
- **Desbalanço de fases**



Manobra de Cargas Especiais



Exemplo: energização de
banco de capacitores

**O relé de sincronismo
evita transitórios prejudiciais**

- Esforços sobre:
 - Disjuntores
 - Isolamento do sistema
 - Reatores
 - Bancos de Capacitores
 - Transformadores
 - Linhas de Transmissão
- Distorções em:
 - Controle de subestações
 - Telecomunicações
 - Computadores
 - Relés de proteção

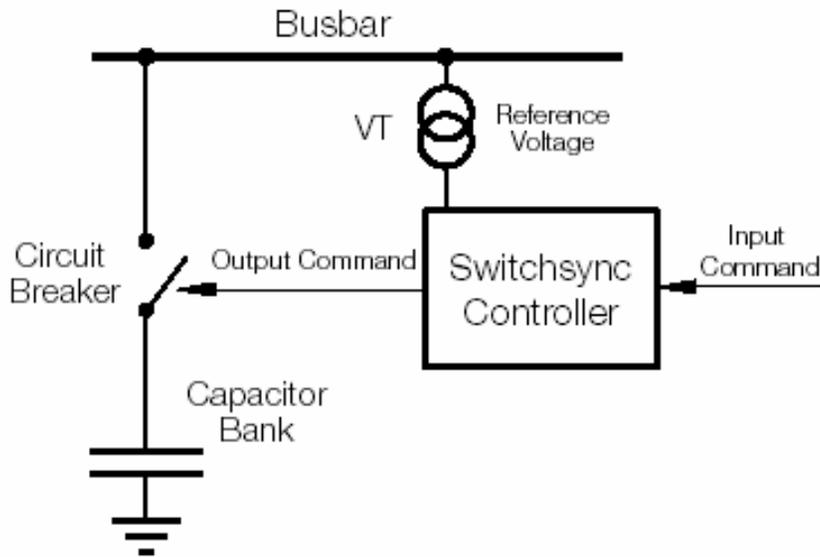
O que é uma manobra controlada ?

- Comandos retardados de abertura/fechamento de tal maneira que a abertura ou o fechamento ocorram no momento mais adequado



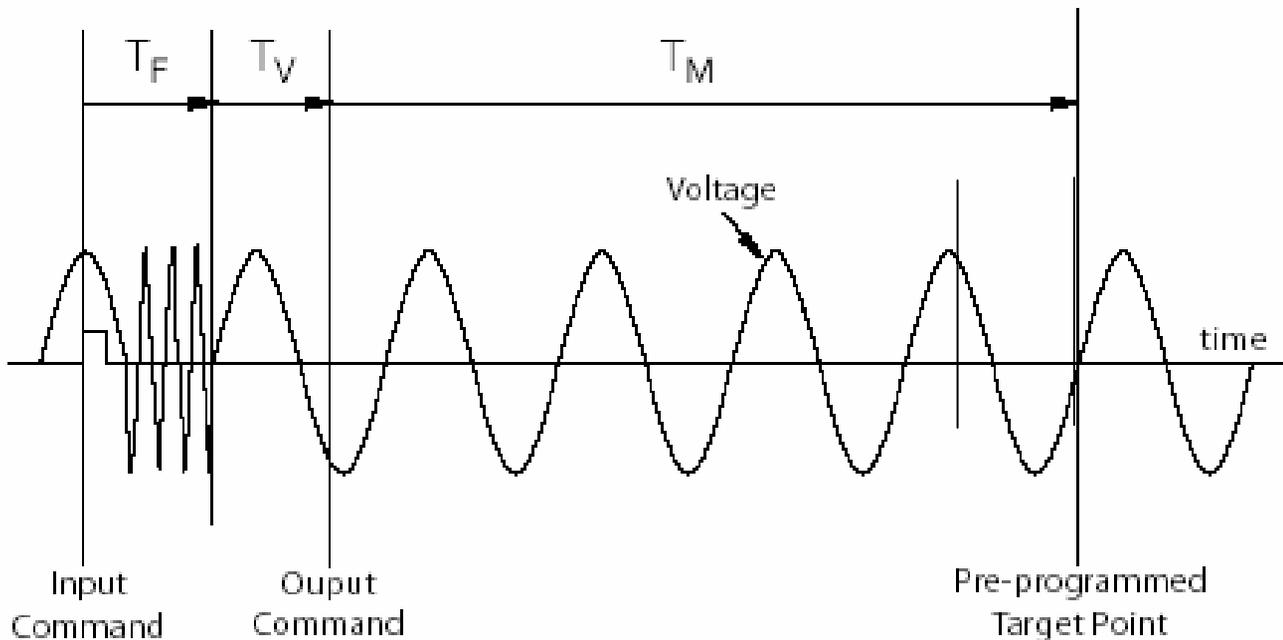
- Um meio de limitar os transitórios prejudiciais através de manobras com tempo controlado

Princípio de Operação



Exemplo: Energização de um banco de capacitores

T_F : Detecção do último zero de ref. de tensão
 T_V : Tempo de espera programado
 T_M : Tempo de operação do disjuntor



Relé de Sincronismo - Power Quality em T&D

Uso do relé de sincronismo nos problemas mais comum de power quality:

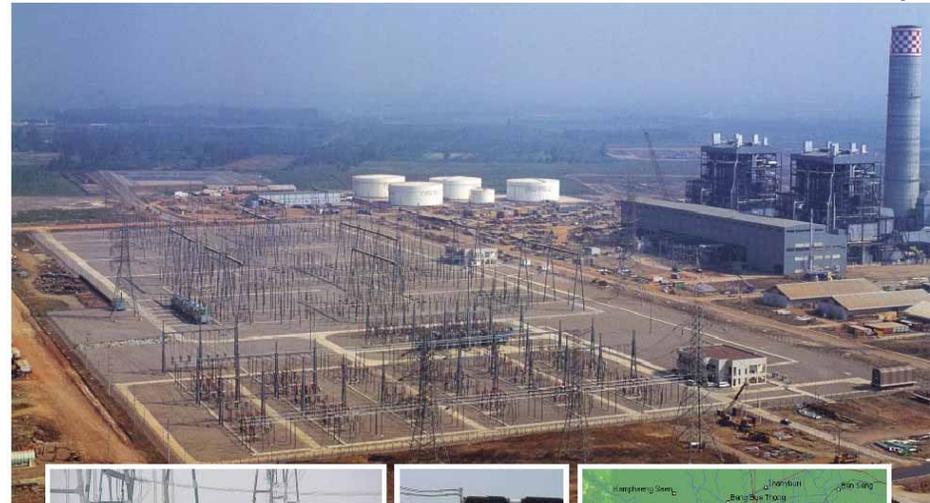
- ✓ Transitórios de tensão
- ✓ Afundamento de tensão - dip/sag
- ✓ Elevação de tensão - swell
- ✓ Distorção da onda de tensão
- ✓ Correntes de inrush

Variação de freqüência

Harmônicos

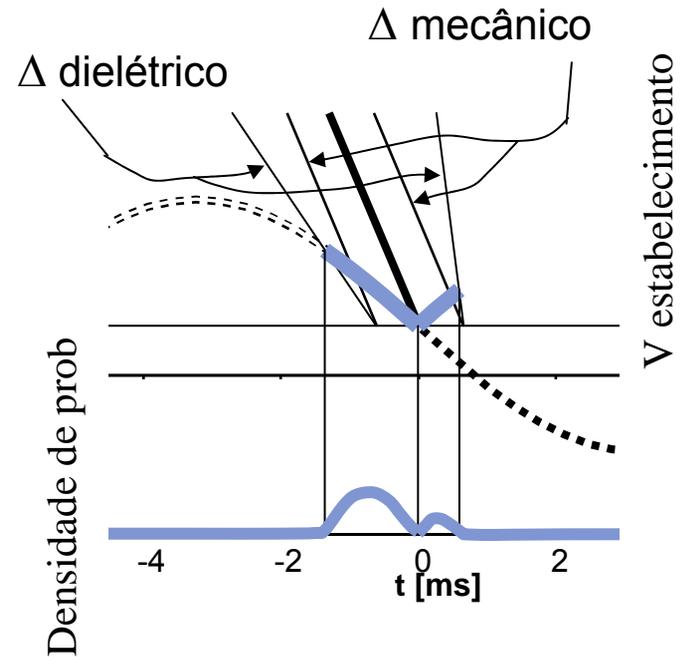
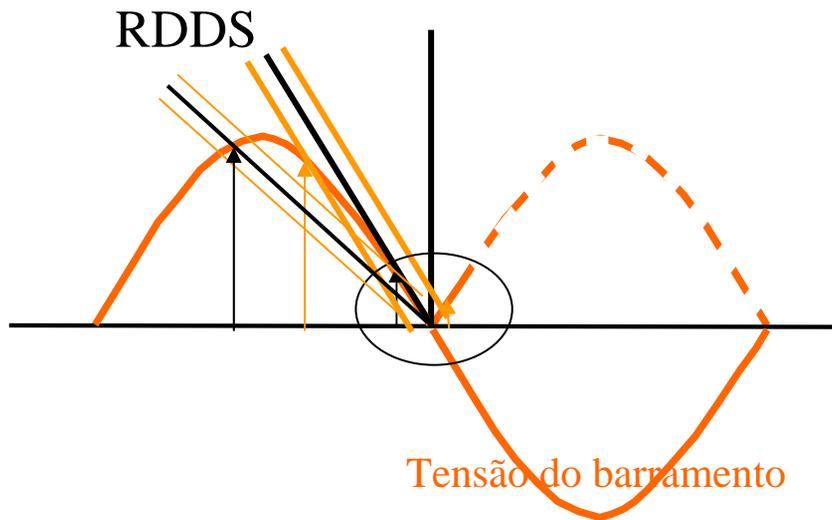
Desbalanço de tensão

Flutuação de tensão - flicker



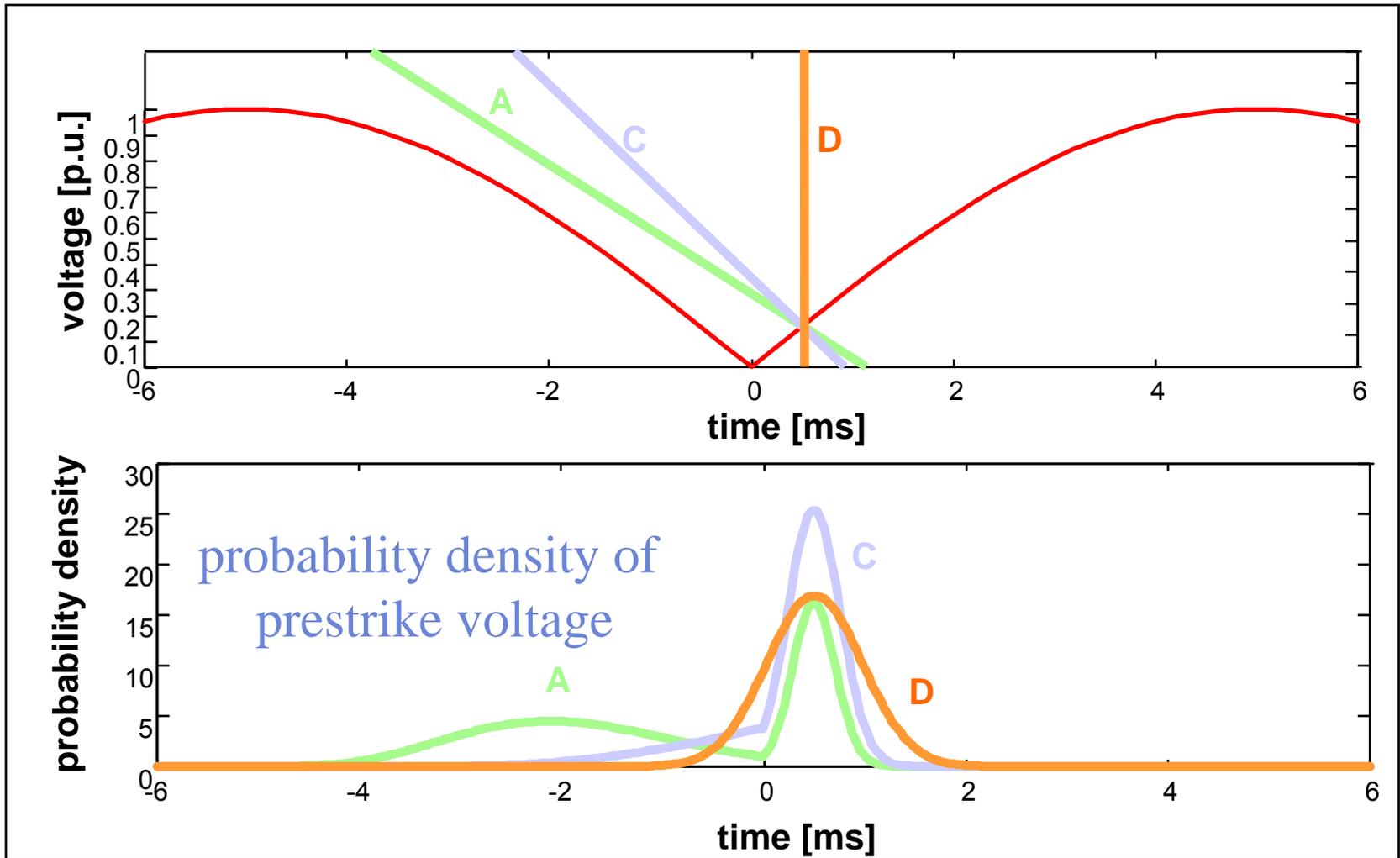
Disjuntor Adequado

- Tempo de operação estável: pequena variação devido as condições ambientais e tensão de controle
- Capacidade dielétrica elevada e estável entre os contatos – RRDS e RDDS



A aplicação de relé de sincronismo é inadequada junto com os resistores de pré-inserção !

Característica dielétrica x Tensão de estabelecimento



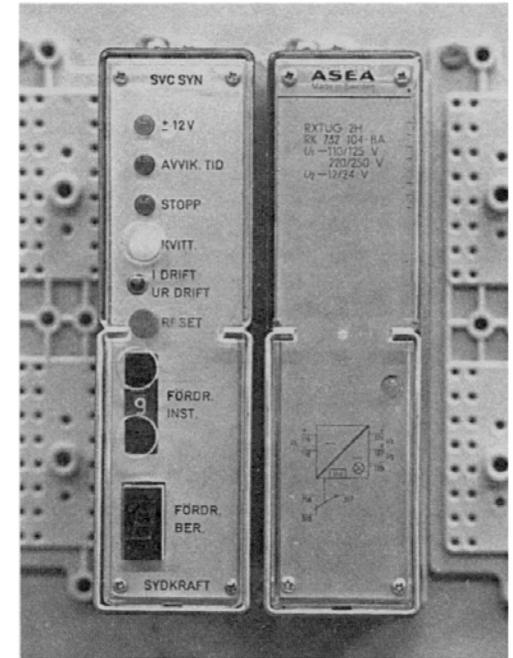
Fonte: Cigre WG13.07



Relé de Sincronismo, > 20 anos de experiência

- Primeiras instalações em campo:
 - ELSAM, Dinamarca, 1984: reator shunt
 - Sydkraft, Suécia, 1986: bco capacitores shunt
- 1ª. geração dos relés Switchsync™, 1986
- Publicações Técnicas e comércio
Informe do Cigré 1988, etc
- Os estudos do Cigré começaram em 1993
Task Force 13.00.1, Electra No.162 & No.164
- 2ª. geração dos relés Switchsync™, 1995

■ Hoje contamos com uma tecnologia bem concreta. ABB possui mais de 1600 disjuntores controlados em todo o mundo



Primeira geração do relé Switchsync

Segunda geração do relé Switchsync



Aplicações do relé de sincronismo

■ Casos estabelecidos de manobra controlada:

- Capacitores shunt => corrente de inrush: 60% **F236**
- Reatores shunt => reingições, corrente de inrush: 25% **F236**
- Transformadores => corrente de inrush, sem fluxo remanente: 15% **F236**

■ Casos recentes:

- Transformadores => corrente de inrush, com fluxo remanente **T183**
- Linhas de Transmissão => religamento, % compensação **L183**

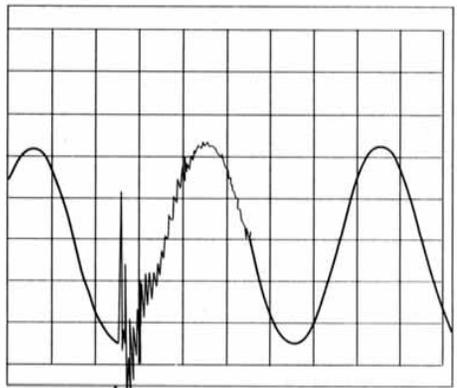


Energização de Banco de Capacitores



- Problema no **fechamento**: altas e frequentes correntes de inrush, sobretensões, distorções da onda de tensão
- Solução: fechar com tensão zero no DJ

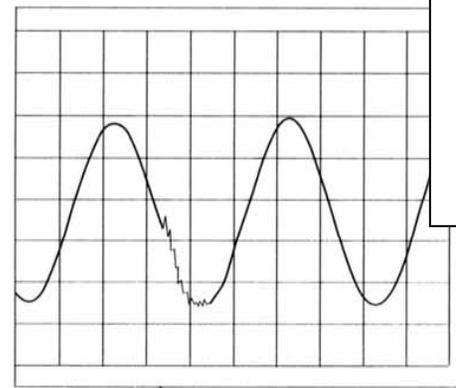
Phase voltage



Closing instant
Time
(5 ms/square)

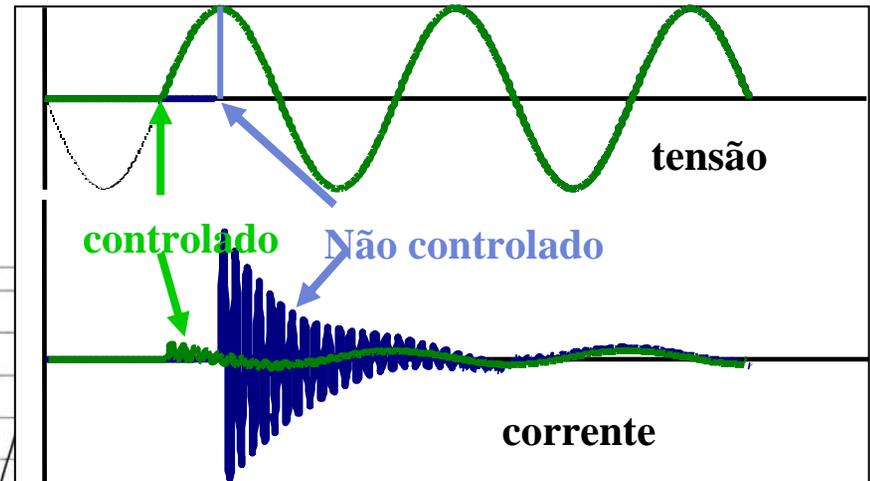
Without synchronous relay

Phase voltage

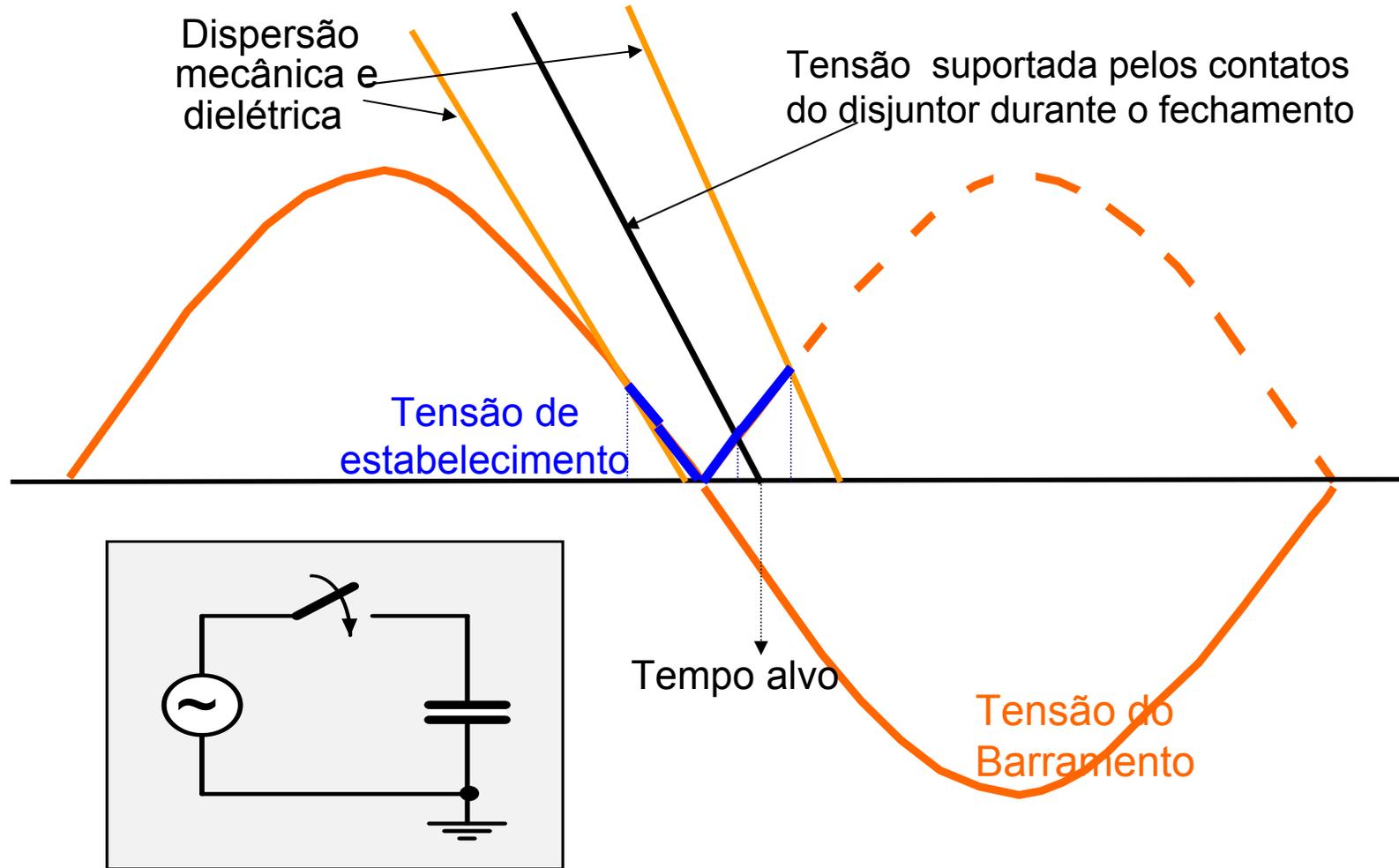


Closing instant
Time
(5 ms/square)

With synchronous relay



Princípio de Fechamento



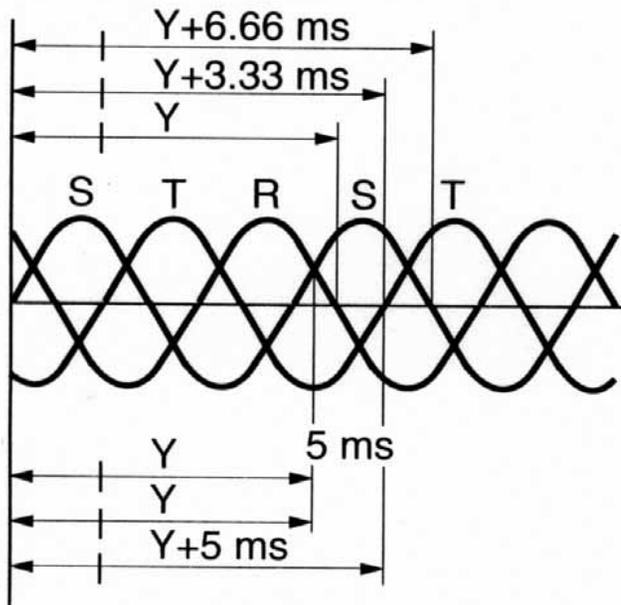
Fechamento monopolar ou tripolar

Os tempos de espera dependem da aplicação: aterramento e frequência

Soluções:

- Operação monopolar com controle individual
- Operação tripolar com pólos mecanicamente defasados

Grounded shunt capacitor bank



Ungrounded shunt capacitor bank

Neutro aterrado:

Os três pólos devem-se fechar com um intervalo de $1/6$ de ciclo ($3.33 \text{ ms}/50 \text{ Hz}$ ou $2.77 \text{ ms}/60 \text{ Hz}$)

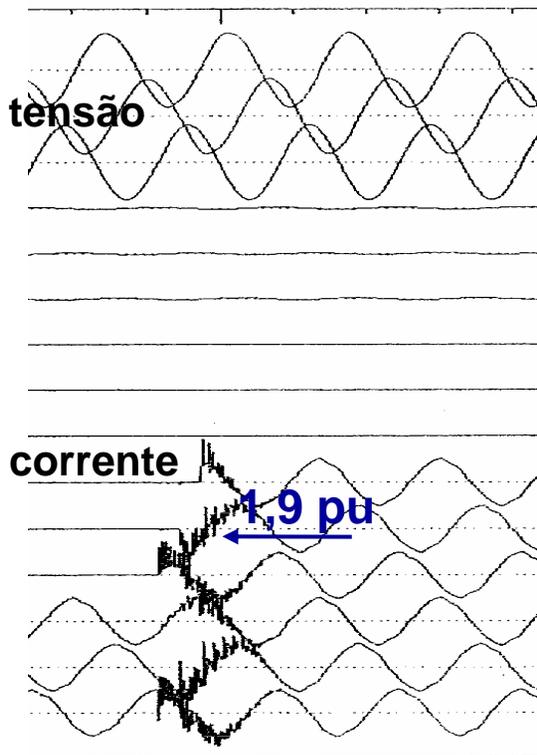
Neutro não aterrado:

Dois pólos devem-se fechar simultaneamente, e o último, com $1/4$ de ciclo depois ($5 \text{ ms}/50 \text{ Hz}$ ou $4.16 \text{ ms}/60 \text{ Hz}$)

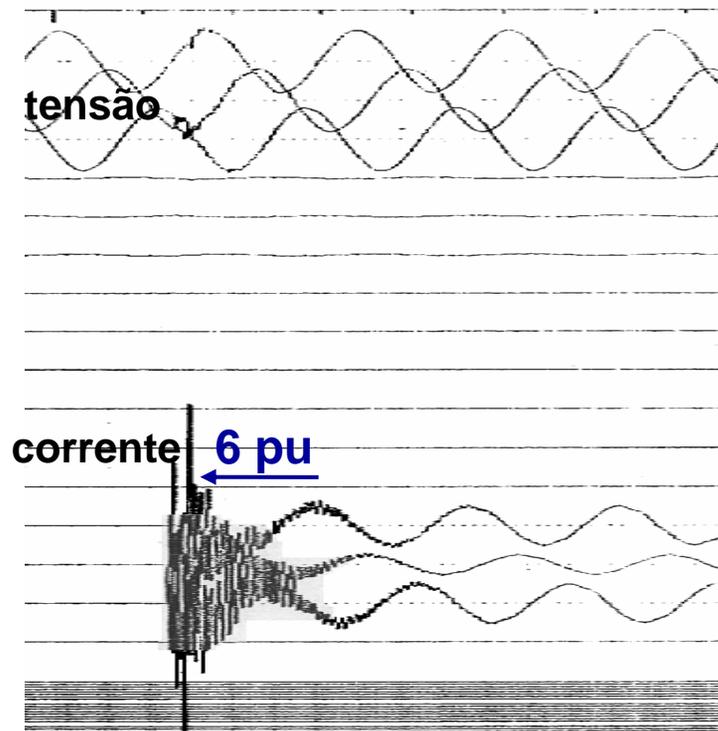
Energização back-to-back

Influência de um banco de capacitores já energizado durante a energização de um segundo:

IEC 62271-100: $I_{inrush}=20\text{kA}$ $f=4,25\text{kHz}$



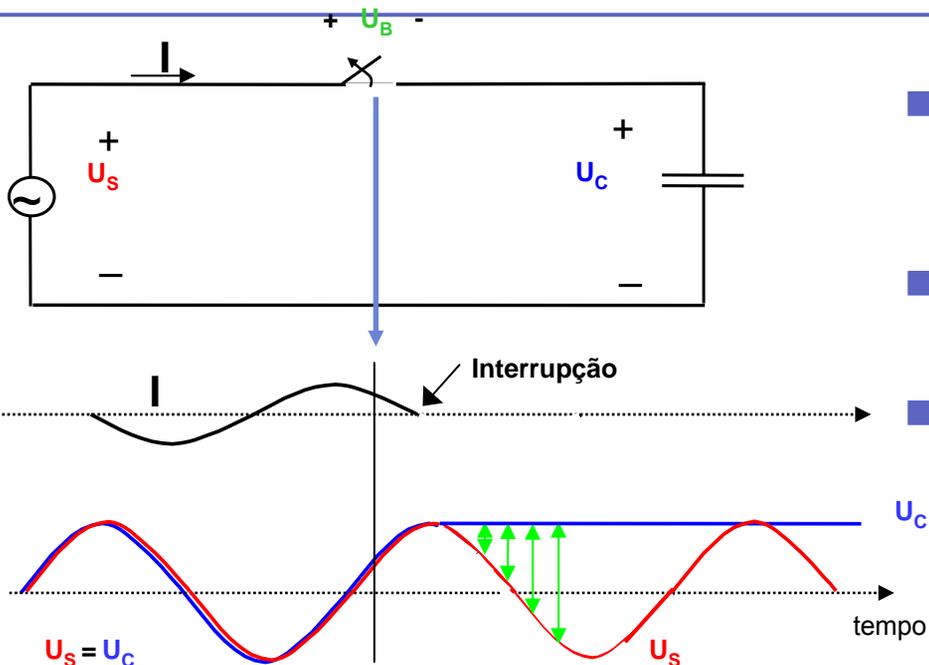
com relé de sincronismo, $I_{inrush} \leq 2.1 \text{ pu}$



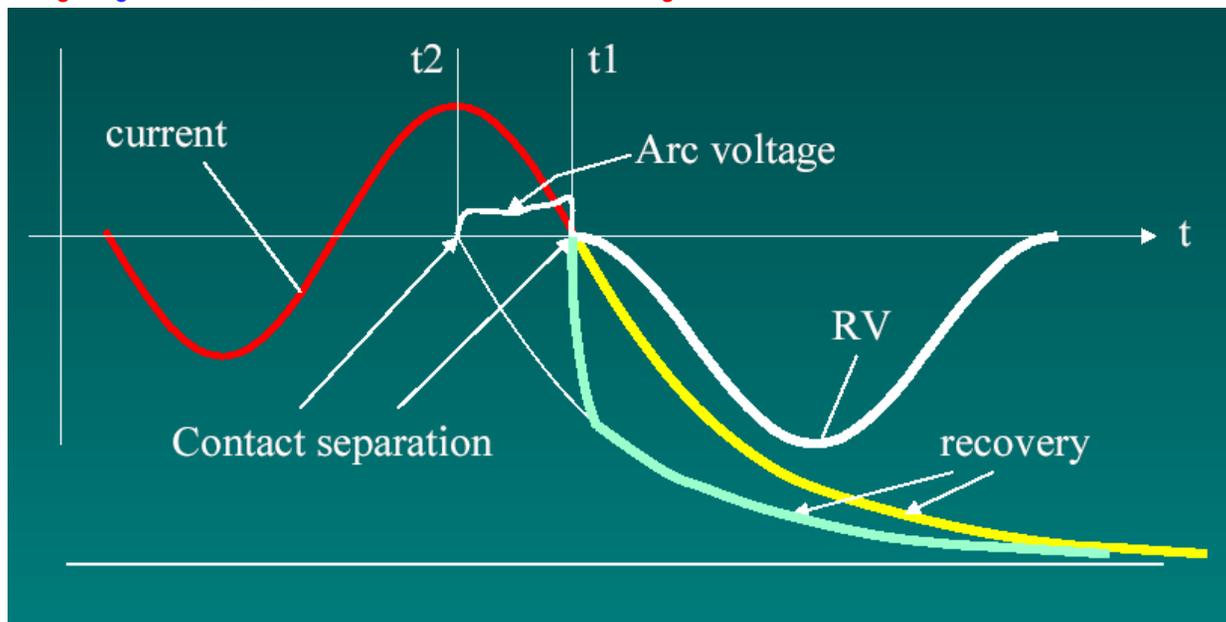
sem relé de sincronismo



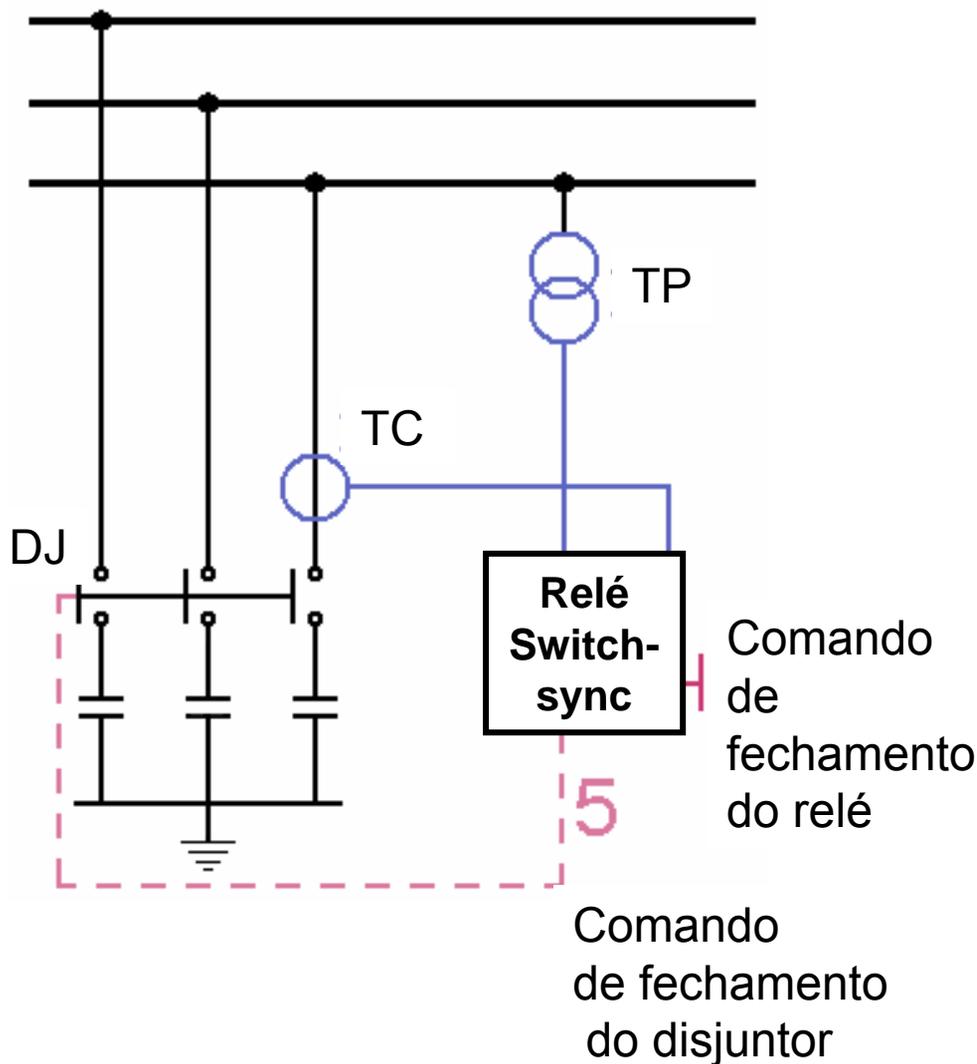
Abertura de Banco de Capacitores



- Problema na abertura: riscos de restrike (reacendimentos)
- Solução: evitar tempos de arco curtos
- Benefício adicional ao fechamento controlado



Controle Adaptativo

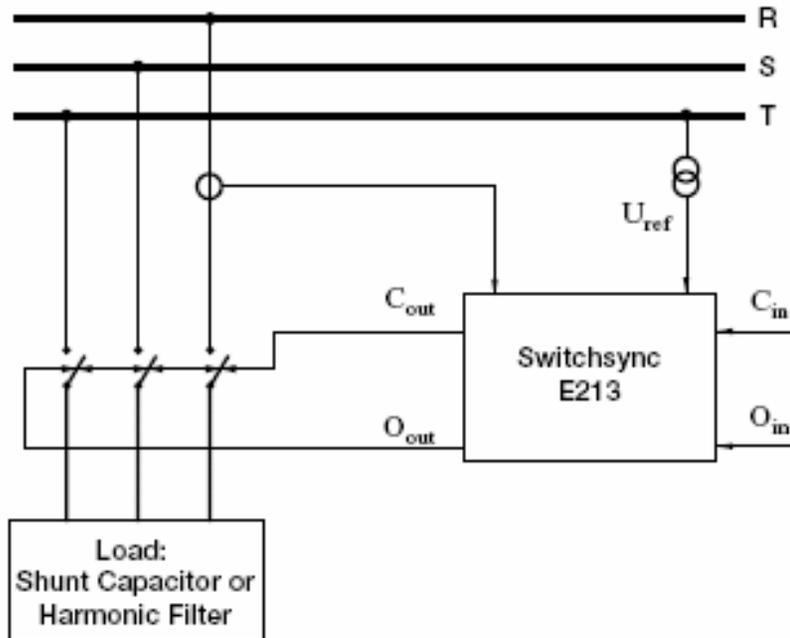


- Mede o tempo efetivo da manobra através de TCs de linha.
- Ajusta o tempo de espera, em caso de necessidade.
- Compensa variações do sistema e envelhecimento do disjuntor

Banco de Capacitor – conexões com o Switchsync

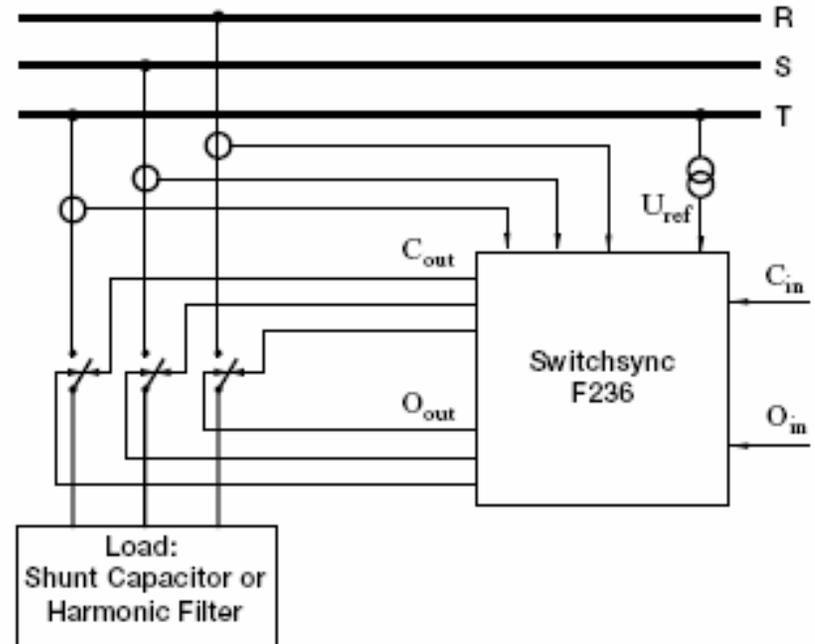
Disjuntor acionamento tripolar
mecanicamente defasado

Both closing and opening: Switchsync™ E213



Disjuntor acionamento monopolar

Both closing and opening: Switchsync™ F236



Legend:

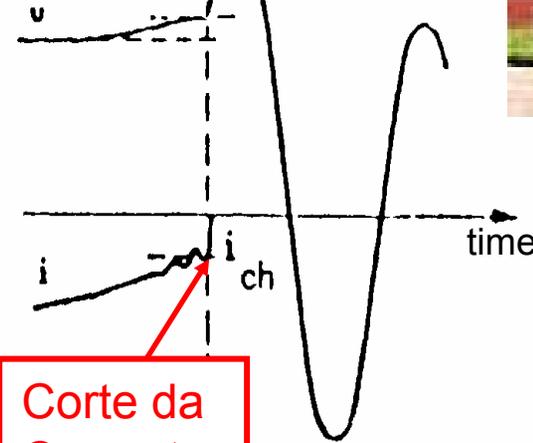
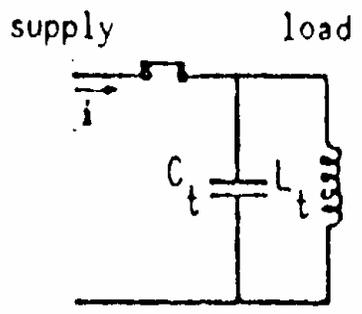
- R,S,T Three-phase busbar
- C_{in} Closing command input
- O_{in} Opening command input
- U_{ref} Reference voltage input
- C_{out} Closing command output
- O_{out} Opening command output



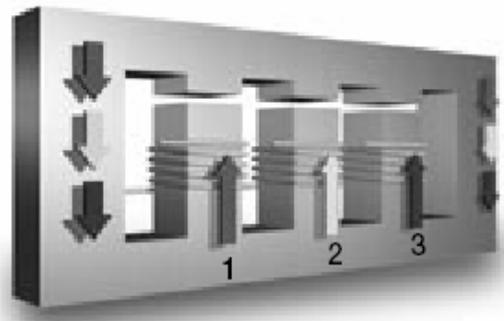
Relé de sincronismo em manobra de reatores

- Preocupação principal: **Abertura, reignições, sobretensões, distorções da onda de tensão**
- Solução: evitar tempos de arco curtos

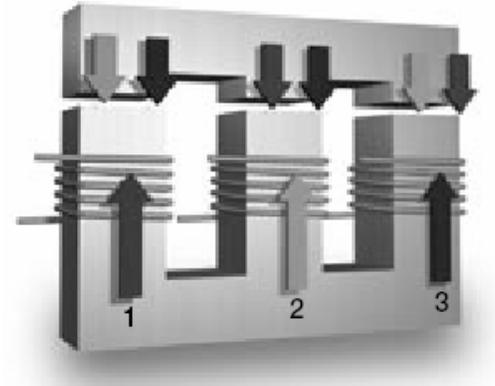
Sobretensão resultante



Corte da Corrente



Five-leg core

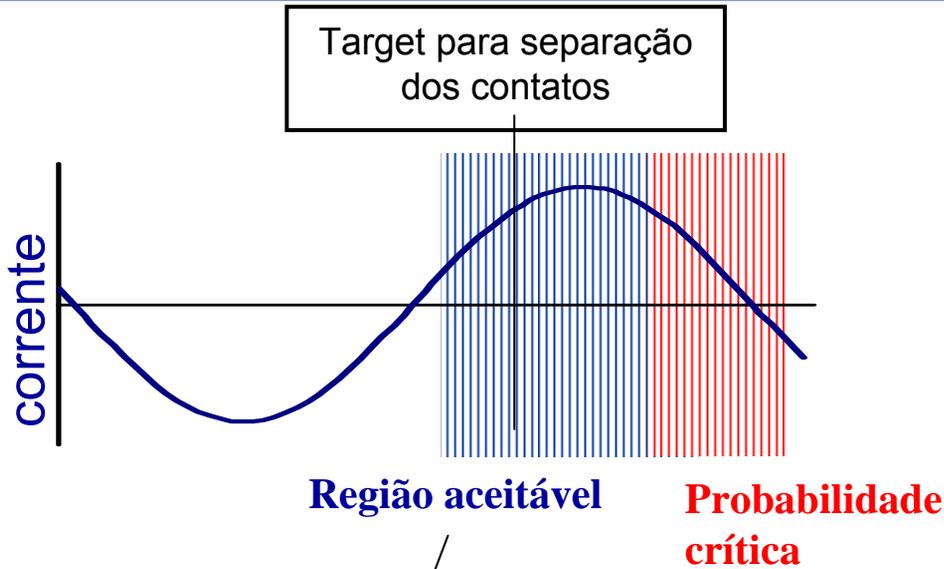


Three-leg core

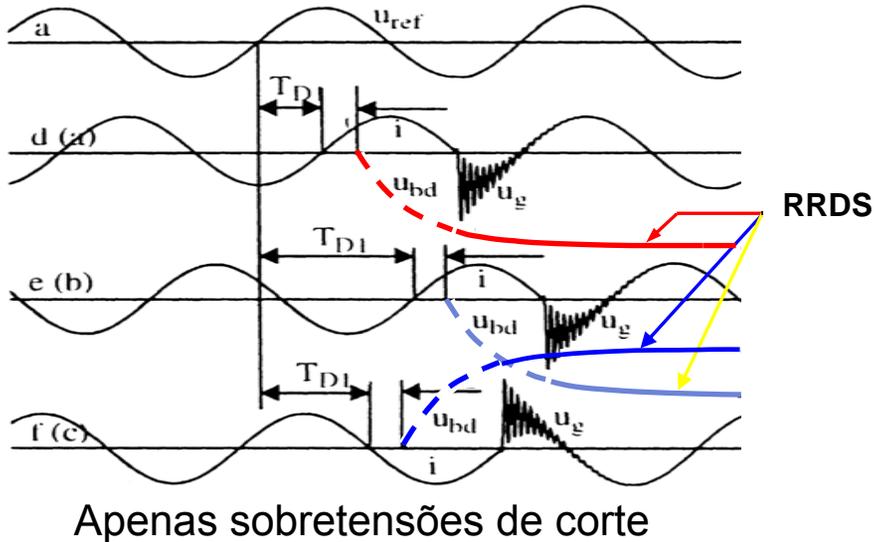
- Compensação de reativos na transmissão
- Chaveamento frequente



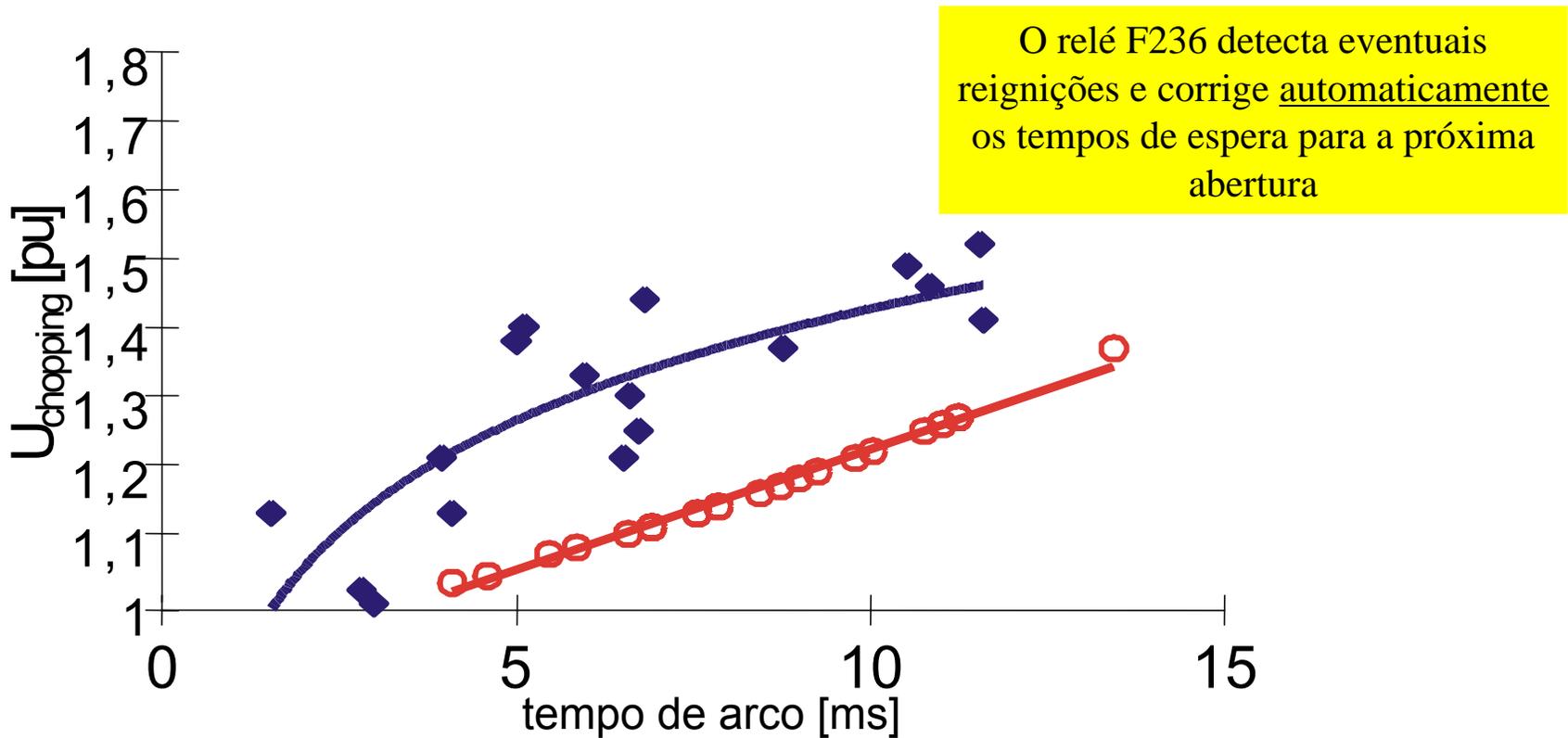
Abertura de reatores



- Sobretensões de corte são suportáveis por DJ modernos
- Reignições são fenômenos de muito alta frequência e podem não ser mitigados por pára-raios



Sobretensões de corte x tempo de arco

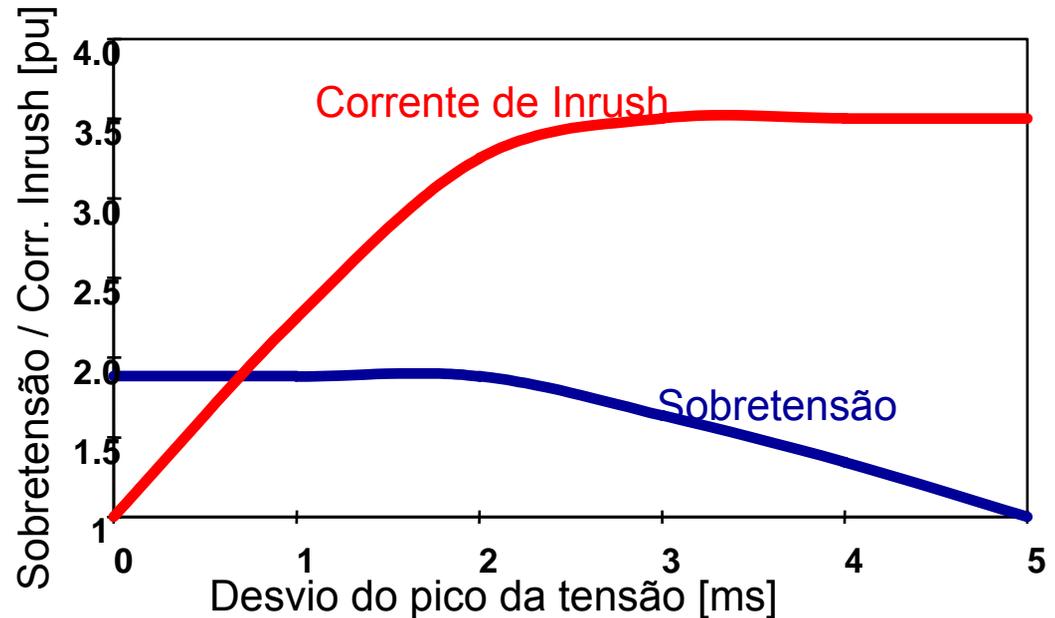
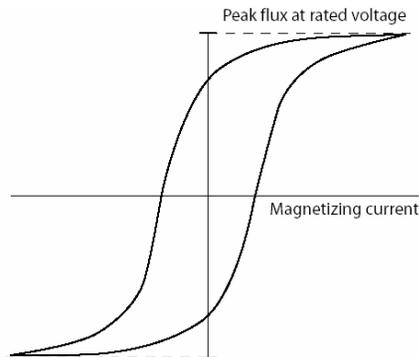
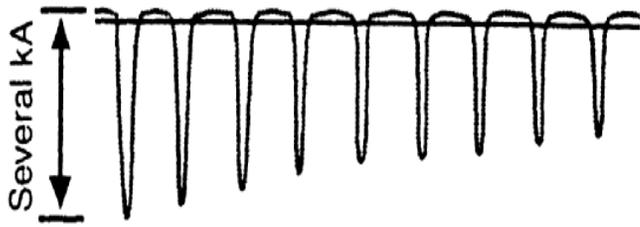


- Com relé de sincronismo:
reator não aterrado < 2.1 pu
reator solid.aterrado < 1.2 pu
reinições: ~0

- Sem relé de sincronismo:
reator não aterrado < 2.6 pu
reator solid. aterrado < 2.1 pu
reinições: 2.1 a 2.5 pu

Fechamento de reatores

- Problema no fechamento: **correntes de inrush de até 3.5 pu**
- Solução: fechar no pico de tensão de cada fase
 - Harmônicas, stress eletromecânico/vibrações no reator, corrente de sequência zero, atuação indevida da proteção
 - Normalmente aplicado como um complemento a abertura controlada



Exemplo de desgaste do disjuntor de reator



1500 manobras não controladas

650 manobras controladas



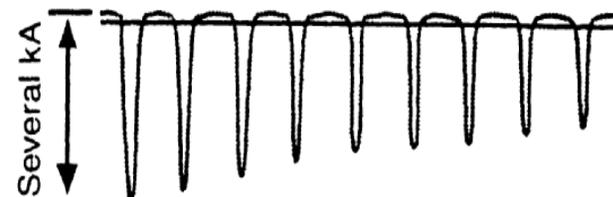
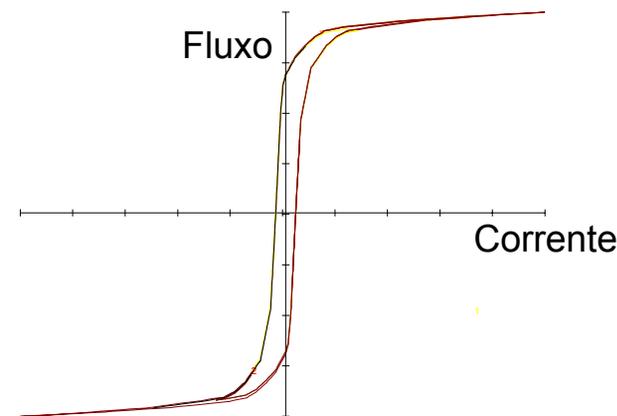
Manobra de transformadores

- Preocupação principal: **corrente de inrush grande e pouco amortecida, vibrações, rica em harmônicos**
- **Solução:** energizar com **fluxo simétrico em cada fase**
- Tipicamente acima de 245 kV



Duas estratégias:

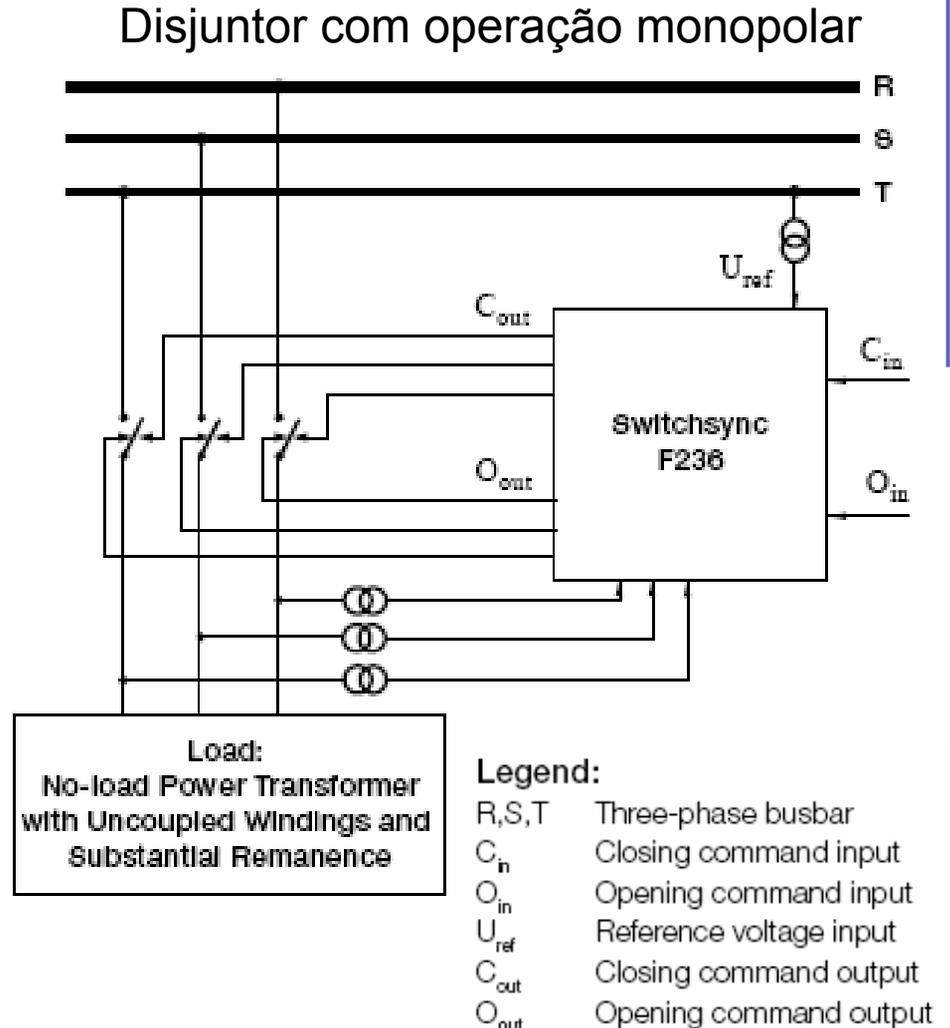
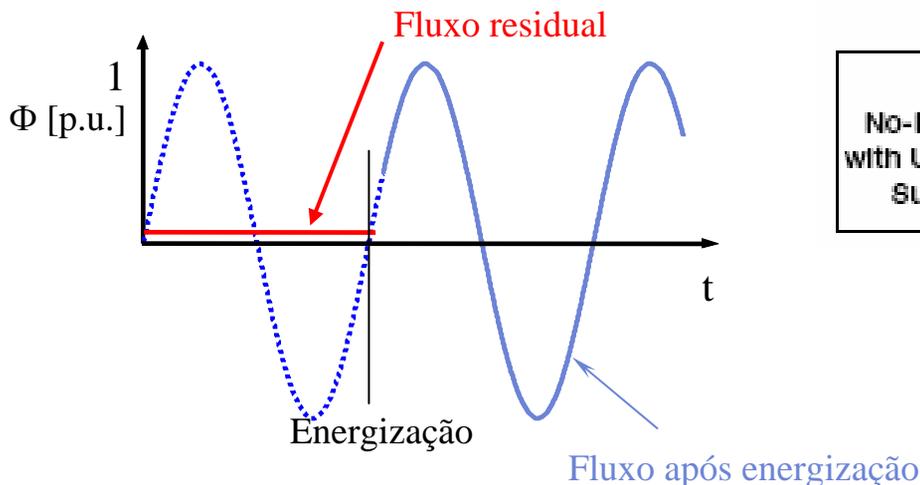
- Medida indireta do fluxo residual: abertura e fechamento com F236
- Medindo o fluxo residual: fechamento com T183



Pequena assimetria no fluxo aumenta o inrush

Medida indireta do fluxo residual

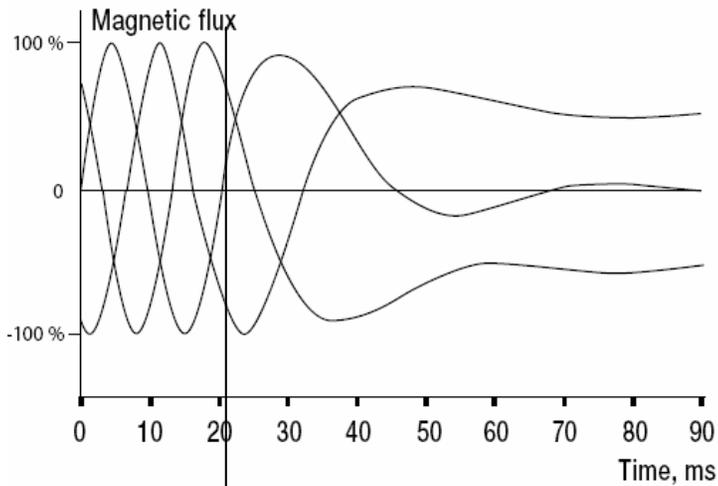
- Abertura ocorre no zero de corrente (menor fluxo residual)
- Os fechamentos subseqüentes, no pico de tensão, zero de corrente de cada fase, somam fluxo simétrico mínimo ao fluxo existente, minimizando o inrush
- O método é apropriado para a manobra regular e planejada



Medindo o fluxo residual

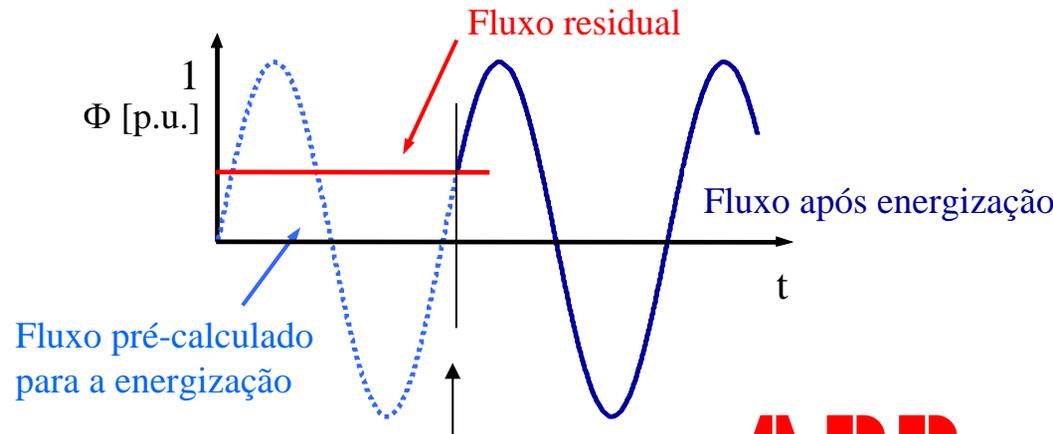
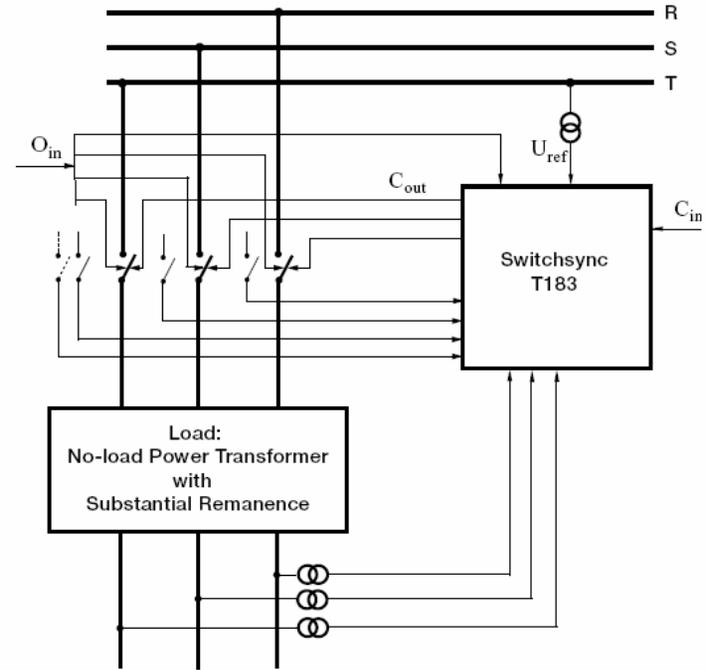
Disjuntor com operação monopolar

- Fluxo calculado na energização é igual ao fluxo residual calculado (módulo e ângulo)
- O método é apropriado para a manobra não planejada, abertura pela proteção



Interrupção

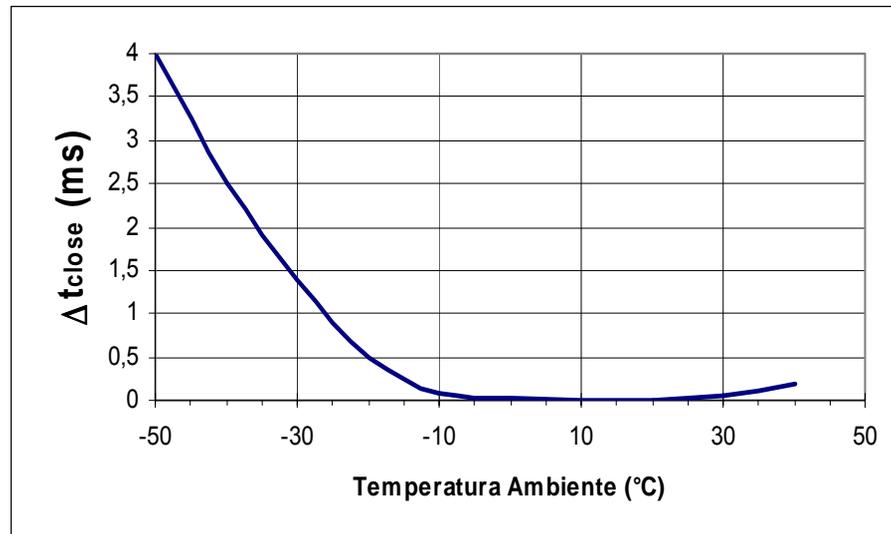
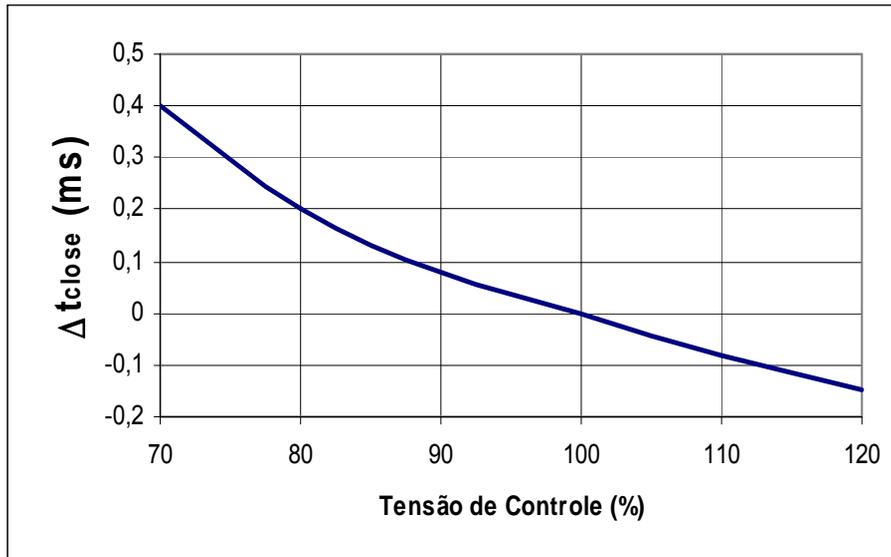
$$\phi = \frac{1}{N} \int V dt$$



Nenhuma assimetria é produzida

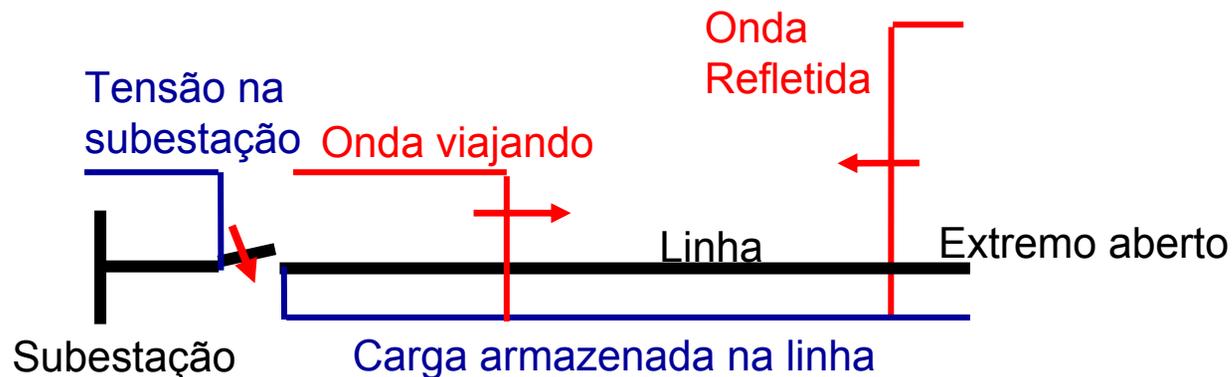


Controle preditivo



- Para transformadores ou cargas com pouca frequência de manobra
- Os relés de sincronismo da ABB possuem duas entradas externas (4 a 20mA) para controle preditivo

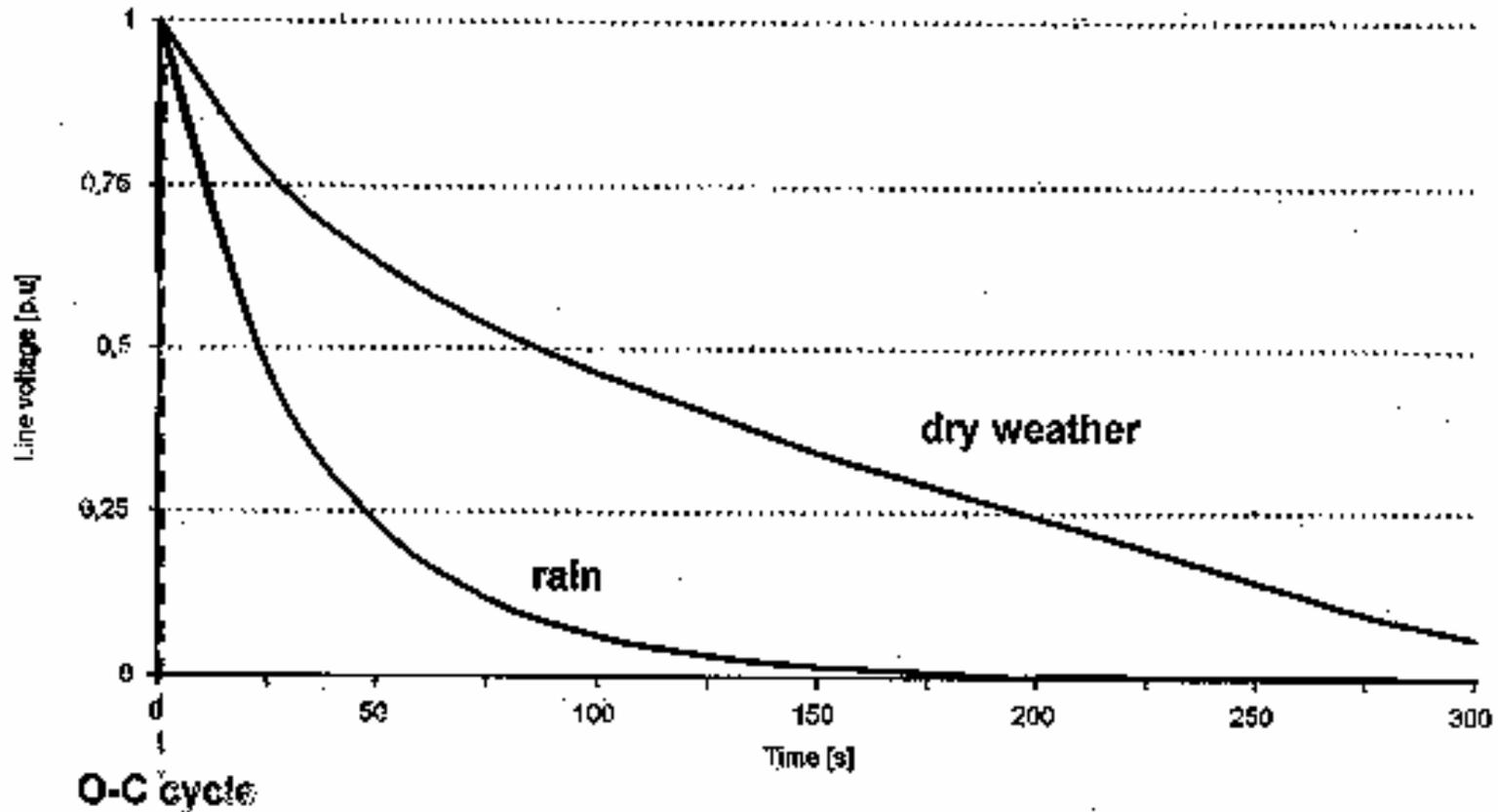
Manobra de linha de transmissão



- Preocupação principal: **religamento e fechamento: sobretensões excessivas, harmônicos**
- **Solução:** fechamento com zero de tensão sobre disjuntor
- Tipicamente acima de 360 kV
- Uso tradicional de resistores de pré-inserção, hoje existem outras opções



Tensão residual na linha

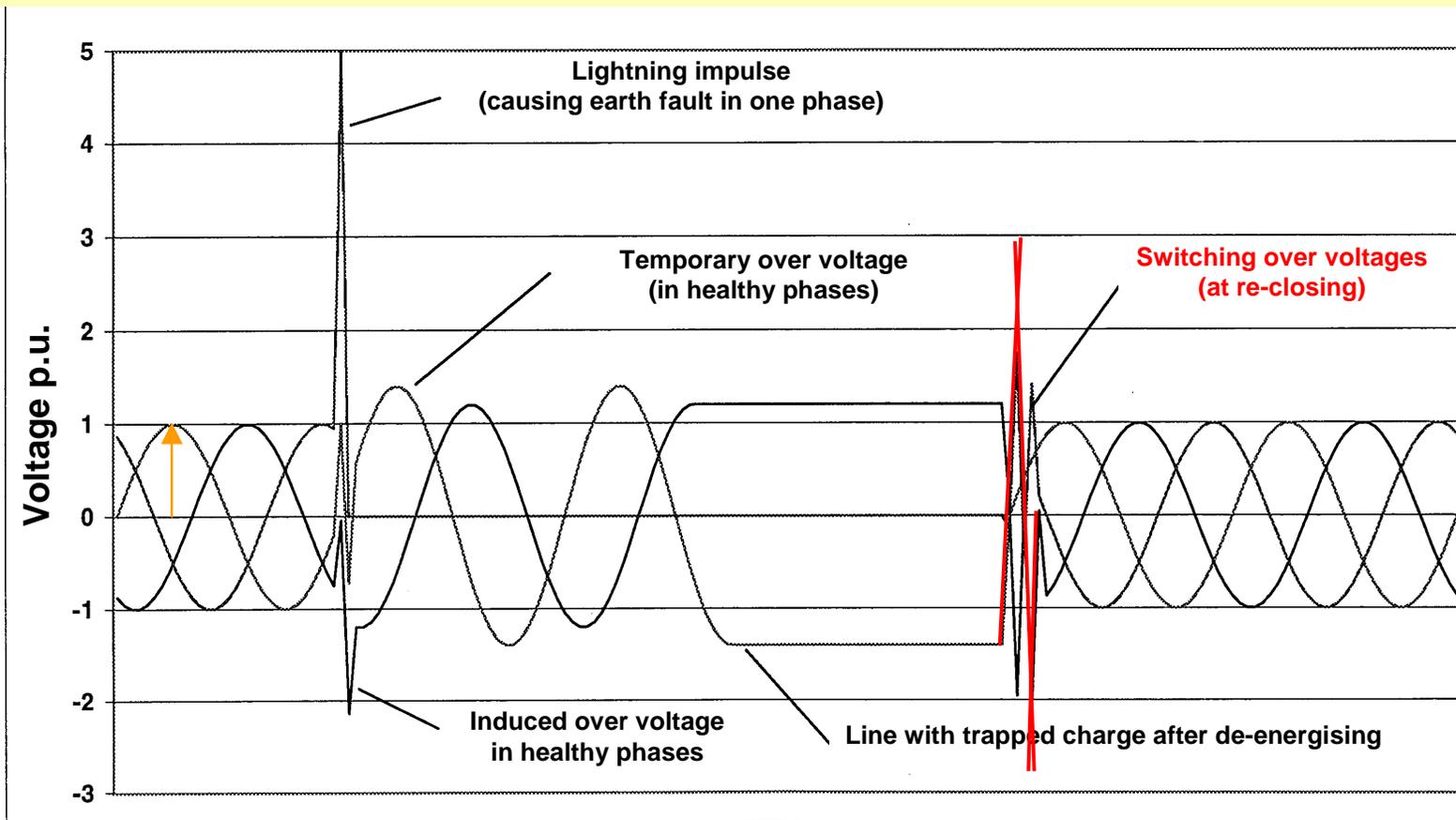


Decaimento: depende das capacitâncias para terra

Religamento de Linhas

Sobretensões no fechamento: 2.0-2.5 pu (s/PIR)

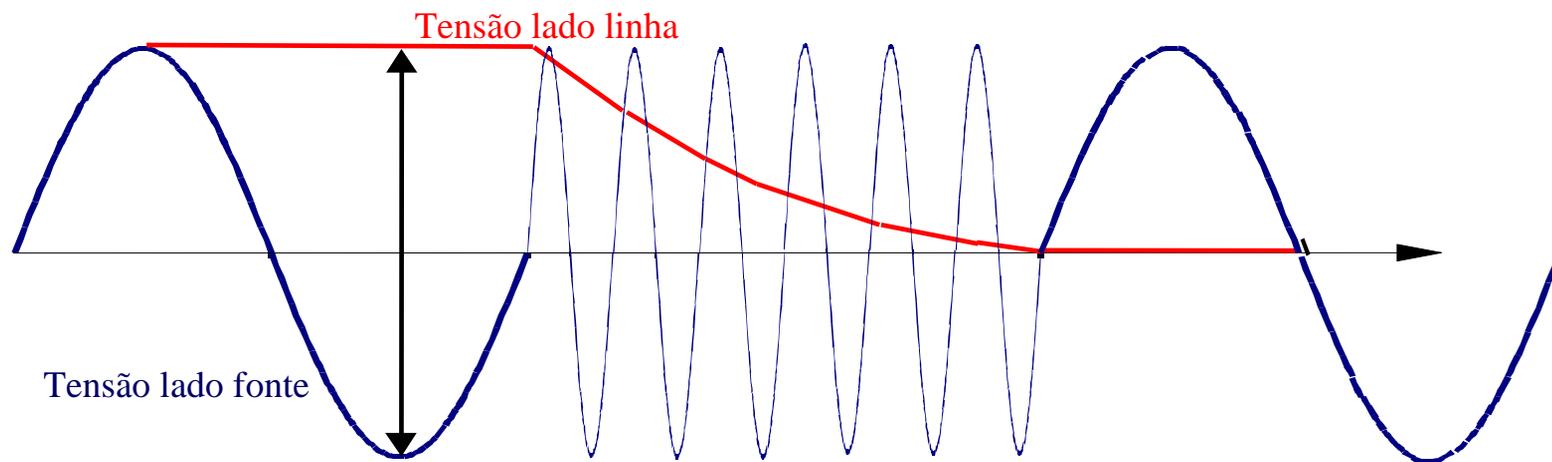
Sobretensões no religamento: **2.5-3.5 pu** (s/ PIR)



1 pu = valor de pico da tensão fase-terra

Linhas não compensadas

Linha com carga residual armazenada decaindo



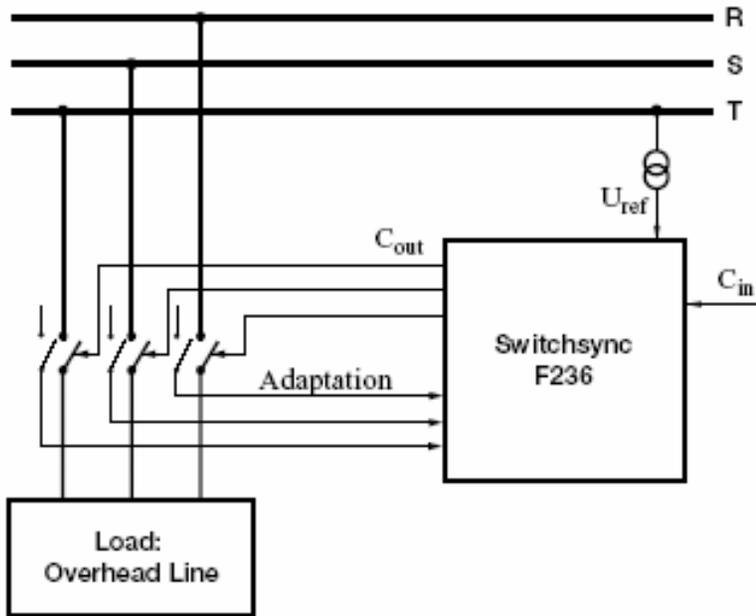
- Carga residual desprezível:
Switchsync™ F236
- Considerando carga armazenada
na linha: Switchsync™ L183

Tensão lado da fonte é conhecida

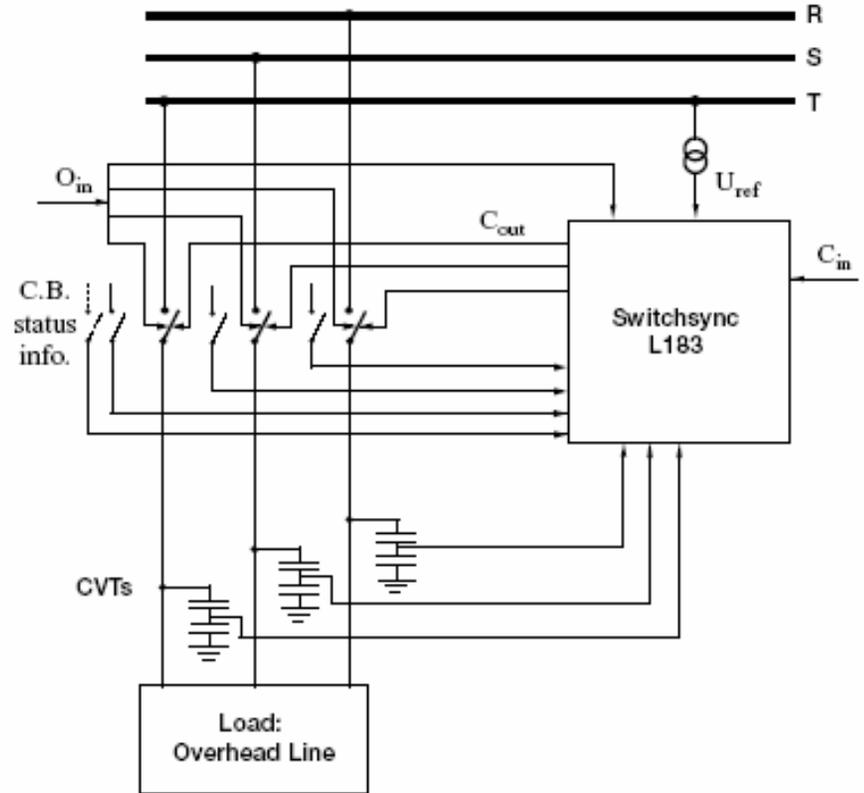
Tensão lado da linha é medida por TPCs

Manobra de linhas: conexões com relé de sincronismo

Disjuntor com operação monopolar

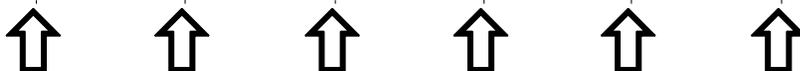
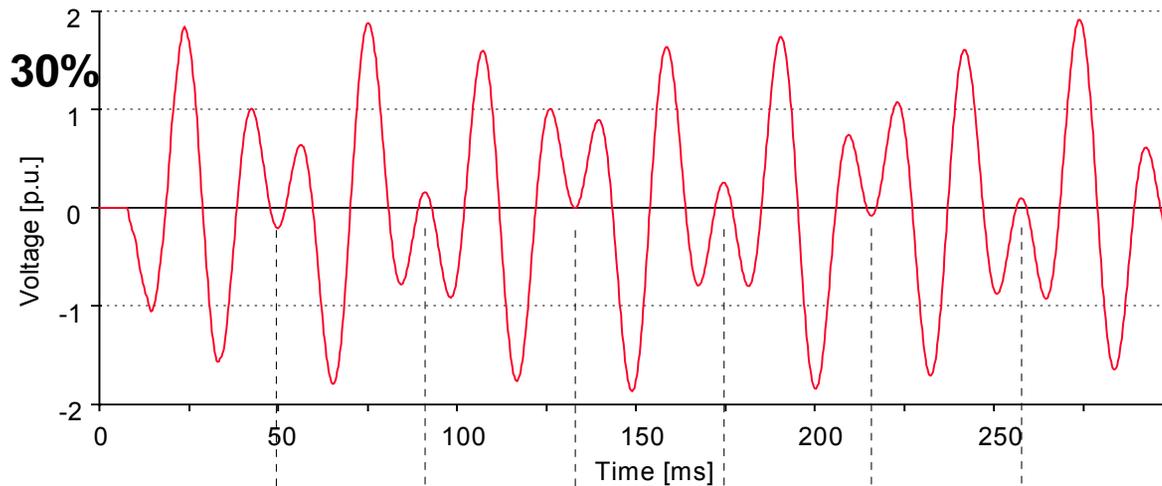


Carga residual desprezível



Carga residual determinada por TPC's

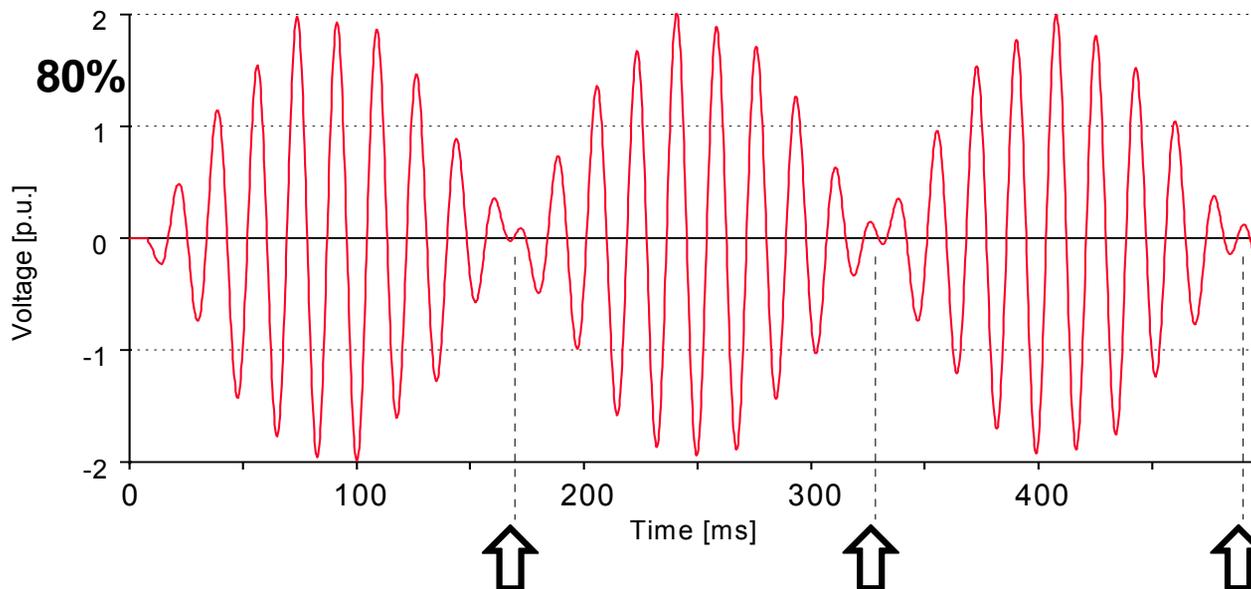
Target nas linhas compensadas



Interferências:

Oscilação da indutância do reator e capacitâncias da linha

Acoplamento entre fases



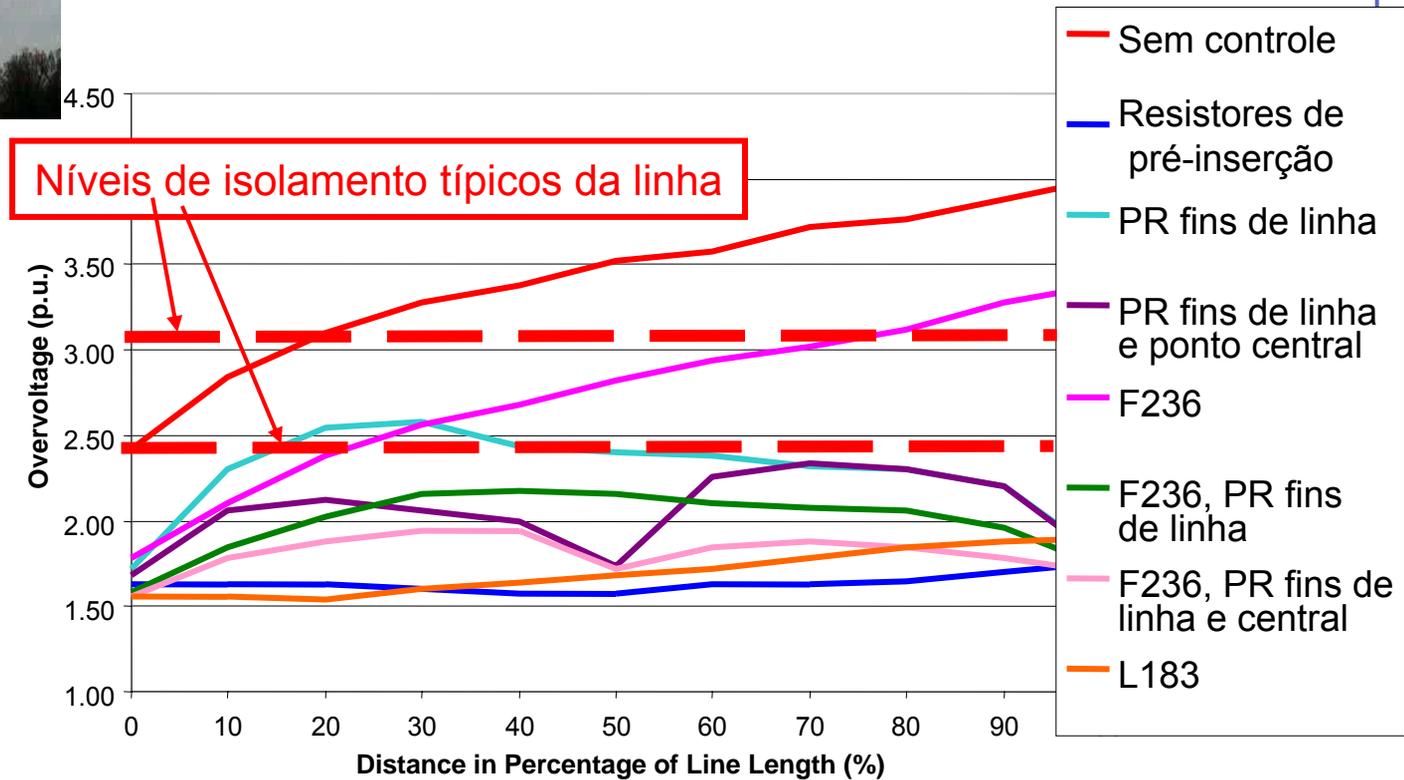
Os relés de sincronismo podem ser usados com fechamento no zero de tensão da fonte, porém não é uma estratégia otimizada



Uso combinado com pára-raios

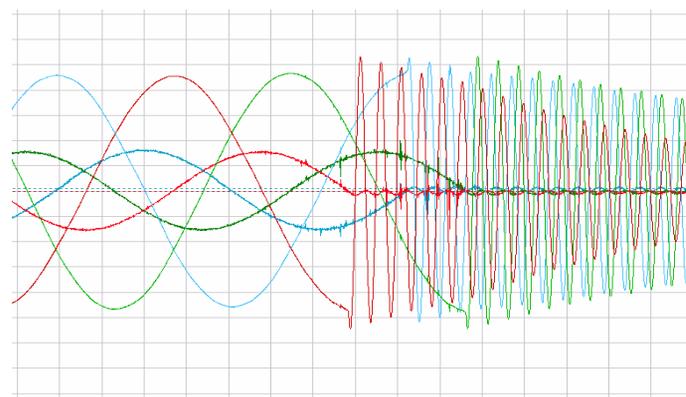


Religamento rápido trifásico de uma linha de 200 km, 550 kV, não-compensada depois de uma falta fase terra



Conclusões Relé de Sincronismo Power Quality

- Melhoram a qualidade do sistema de potência, com custo razoável
- A maioria dos disjuntores de alta tensão pode ser operado por relé de sincronismo
- Protegem os componentes do sistema elétrico contra stress dielétrico/eletromecânico
- Confiabilidade comprovada desde 1984, mais de 1600 unidades entregues pela ABB
- Familiarização pelos usuários



A B B