

Reatores

Reatores são usados para compensação da capacitância de linhas de transmissão longas ou para limitação de curto circuito, interligando barras, aterrando neutro ou conectados em série com outros equipamentos como linhas ou transformadores.

A forma de construção é similar à do transformador.

- Formas de classificação

Quanto ao número de fases os reatores podem ser monofásicos ou trifásicos

Quanto ao tipo de núcleo podem ser com núcleo de ar ou núcleo de ferro

Quanto à forma de conexão podem ser "shunt" ou série

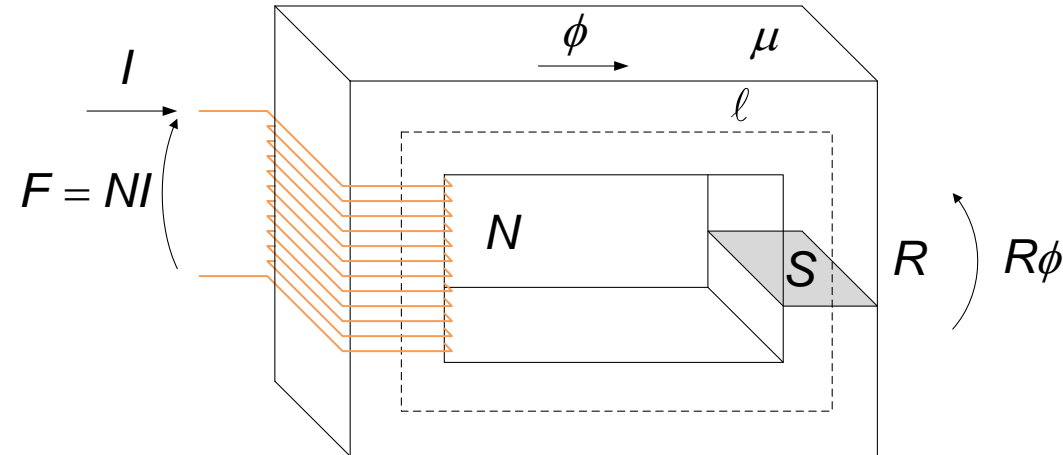
Quanto à refrigeração podem ser a ar ("dry type" / a seco) ou a óleo

- Fórmulas básicas:

$$X_L = j\omega L, \omega = 2\pi f, \text{ associação em série: } L_{eq} = \sum_{i=1}^N L_i, \text{ em paralelo: } L_{eq}^{-1} = \sum_{i=1}^N L_i^{-1}, V = L \frac{dI}{dt}$$

Para associação de reatores em série e paralelo valem as mesmas equações do caso de resistores.

Reatores - Cálculo da indutância



Pela Lei de Lenz e pela expressão da tensão em função da corrente tem-se:

$$V = N \frac{d\phi}{dt} \quad (1) \quad V = L \frac{dI}{dt} \quad (2) \quad \text{então } N \frac{d\phi}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (3) \quad \text{ou } N\phi = LI \quad (4), \quad \text{onde se isola } L = \frac{N\phi}{I} \quad (5)$$

Do circuito magnético do exemplo de reator obtemos o fluxo:

$$NI = R\phi \quad (6) \quad \text{ou } \phi = \frac{NI}{R} \quad (7) \quad \text{usando (7) em (5) tem-se: } L = \frac{NNI}{IR} = \frac{N^2}{R} \quad \text{ou } L = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 S}{l}$$

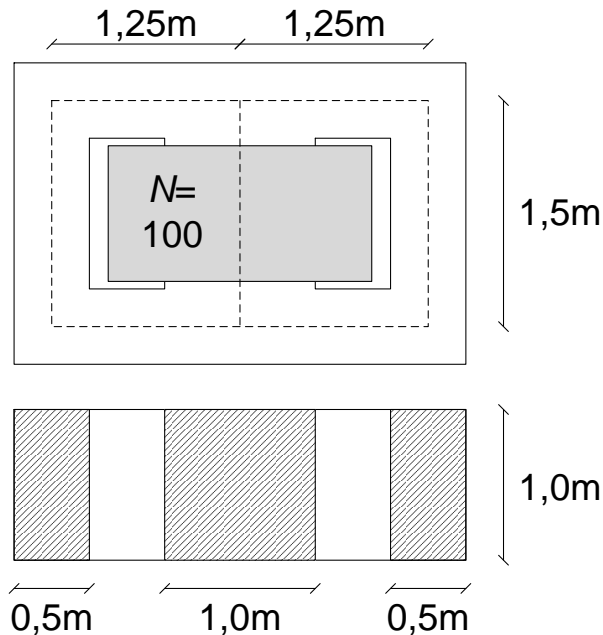
$$\text{Onde a relutância é: } R = \frac{1}{\mu_r \mu_0} \frac{l}{S}$$

No dimensionamento deve ser respeitada a temperatura de projeto do enrolamento, por volta de 70°C, definindo-se a bitola do condutor e o fluxo máximo no núcleo, por volta de 1,2 Wb/m², para não haver saturação, definindo-se a seção do núcleo.

Reatores - Cálculo da indutância

Exemplo:

Calcular a reatância e a potência de um banco de reatores trifásicos composto por 3 unidades com as seguintes características e verifique se haveria saturação:

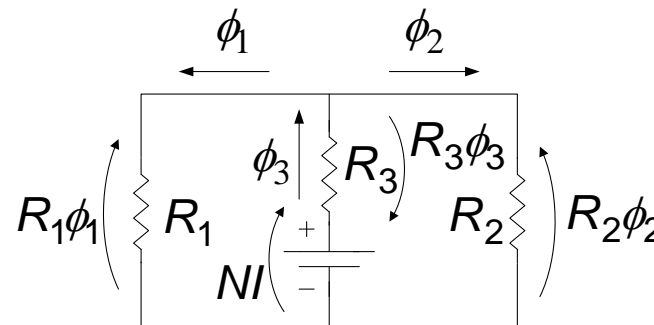


$\mu_r = 6000$ (chapas de ferro), $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m

Bobina de fio de cobre com 100 espiras

Frequência nominal 60 Hz, Tensão nominal 440 kV

O circuito magnético é o seguinte (série/paralelo):



A relutância equivalente é R_3 em série com $R_1 // R_2$:

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{\mu_r \mu_0} \frac{\ell_1}{S_1} = \frac{1}{6000 \times 4\pi 10^{-7}} \frac{1,25 + 1,5 + 1,25}{1 \times 0,5} = 1061 \frac{\text{A}}{\text{Wb}}$$

Reatores - Cálculo da indutância

$$R_3 = \frac{1}{\mu_r \mu_0} \frac{l_3}{S_3} = \frac{1}{6000 \times 4\pi 10^{-7}} \frac{1,5}{1 \times 1} = 198,94 \frac{\text{A}}{\text{Wb}}$$

$$R_{eq} = R_3 + \frac{R_1}{2} = 729,46 \frac{\text{A}}{\text{Wb}}$$

Indutância e reatância:

$$L = \frac{N^2}{R_{eq}} = \frac{100^2}{729,46} = 13,709 \text{H} \quad x = 2\pi fL = 5161,8\Omega$$

Potência nominal:

$$Q_n = \frac{V_n^2}{x} = \frac{440^2}{5161,8} = 37,461 \text{ MVAr}$$

Densidade de fluxo magnético:

$$I_n = \frac{Q_n}{\sqrt{3}V_n} = 49,154 \text{ A}, \quad \phi_3 = \frac{NI_n}{R_{eq}} = 6,7385 \text{ Wb}, \quad B_3 = \frac{\phi_3}{S_3} = 6,7385 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$$

Essa densidade de fluxo é maior que o limite de 1,2 Wb/m², a solução mantendo a indutância poderia ser inserir um entreferro no núcleo e aumentar o número de espiras.

Com um entreferro de 2,9 cm na perna central e 570 espiras manteve-se a indutância praticamente igual (13,647 H) mas reduziu a densidade de fluxo para 1,1822 Wb/m² (ou 1,1822 T: Tesla).

Reatores - Exemplos



Reator série trifásico, núcleo de ferro, a seco

Fonte: www.abb.com.br



Reator shunt trifásico, núcleo de ferro, a óleo

Fonte: www.abb.com.br

Reatores - Exemplos



Reator shunt monofásico com núcleo de ar

Fonte: www.bpeg-usa.com



Reator shunt monofásico a óleo, 500 kV, 50 MVA


Fonte: <http://ztr.com.ua/>

Reatores - Valores nominais

Os valores nominais básicos de um reator são:

- Potência nominal (monofásica ou trifásica) em MVA_r
- Tensão nominal (fase-fase) em kV
- Fator de qualidade $Q=X/R$

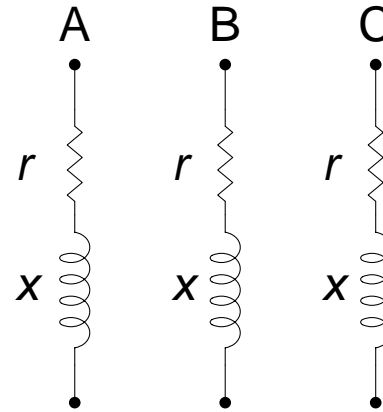
Para reatores com núcleo de ferro pode ser informada a curva de saturação.

 TRENCH BRASIL LTDA. REATOR COM NÚCLEO DE AR		FABR. NO BRASIL	
TIPO	CLR	NORMA	NBR 5119/83
N° DE FABR.	102215-*	MANUAL	01 95 10
ANO DE FABR.	2002	PEDIDO	1022
CLASSE TEMP. ISOL.	B	INSTAL. [] INTERNA [X] EXTERNA	
RESFRIAMENTO	AN	ALTITUDE	1000 manm
INDUTÂNCIA NOM.	4.28 mH	TOLERÂNCIA	-0/+10 %
IMPEDÂNCIA NOM.	1.614 Ω	FREQ. NOMINAL	60 Hz
CORRENTE NOM.	75 Arms	TENSÃO NOMINAL	13.8 kVrms
I _{kN}	4.60 kArms 1 seg	NBI	110 kVp
I _{kd}	11.50 kAp	N° DE FASES	1
PESO TOTAL	105 kg	POTÊNCIA NOM.	9.08 kVA

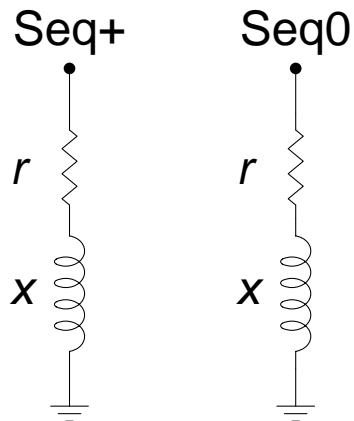
Exemplo de dados de placa de reator

Reatores - Modelamento

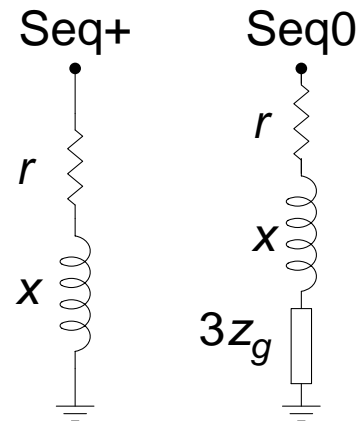
O modelo trifásico do reator é o seguinte:



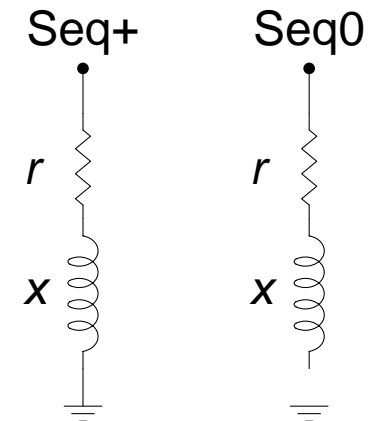
Os modelos de sequência positiva e zero são os seguintes:



ligação estrela solidamente
aterrada



ligação estrela aterrada



ligação estrela não aterrada ou
delta

Reatores - Modelamento

- Cálculo da reatância a partir da potência nominal e da tensão nominal:

$$x = \frac{V_n^2}{Q_n} (\Omega), \quad V_n: \text{tensão eficaz nominal fase-fase (kV)}, \quad Q_n: \text{potência reativa nominal (MVAr)}$$

Cálculo da resistência a partir do fator de qualidade Q ou das perdas em tensão nominal:

$$r = \frac{x}{Q} (\Omega) \quad P = 3rI_n^2 \quad I_n = \frac{Q_n}{\sqrt{3}V_n} \quad P = r \left(\frac{Q_n}{\sqrt{3}V_n} \right)^2 \quad r = \frac{V_n^2 P}{Q_n^2}, \quad P: \text{perdas (MW)}$$

- Cálculo da reatância em pu em outra base de potência:

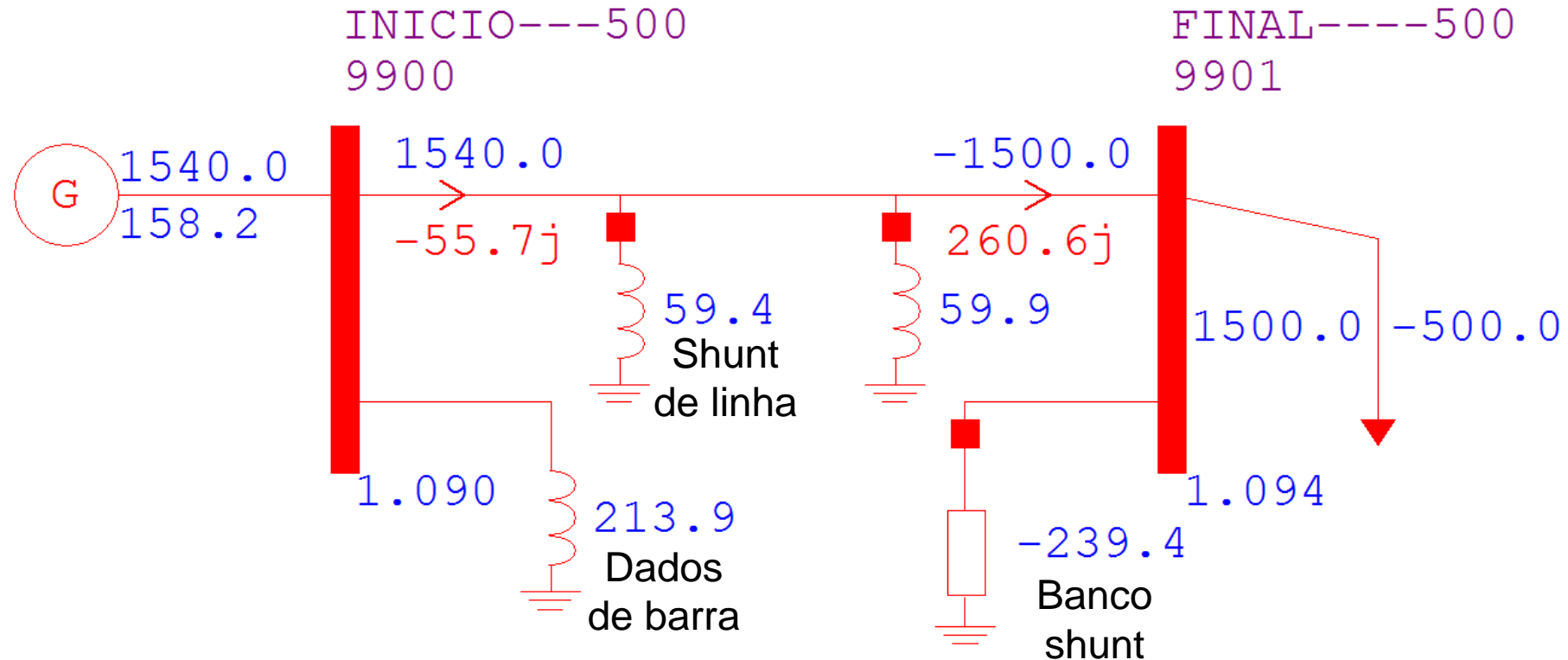
A partir da impedância de base e dos parâmetros em Ω passa-se para pu ou passa para pu diretamente a partir da potência nominal:

$$x = \frac{V_n^2}{Q_n} (\Omega), \quad Z_b = \frac{V_n^2}{100\text{MVA}}, \quad x_{100\text{MVA}} = \frac{100\text{MVA}}{Q_n} (\text{pu})$$

OBS - Na base própria a reatância é 1 pu e a resistência é 1/Q pu.

Reatores - Modelamento no Anarede

No programa Anarede o reator pode ser modelado diretamente nos dados de barra, como shunt de linha ou banco shunt.



- Nos dados de barra  (valor negativo reator, valor positivo capacitor)

DBAR

```
(Num)OETGb( nome )G1( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)( Bc ) ( P1)( Q1)( Sh)Are(Vf)M
9900 L2 CINICIO---500 31090 0.1540.158.2-999999999 -180. 81000
9901 L CFINAL-----500 31094-16. 1500.-500. 81000
99999
```

- Banco shunt  (valor negativo reator, valor positivo capacitor)

DBSH

(NFr) O (NTo) Nc C (Vmn (Vmx Bctrl (Qini) T A (Extr

9901 D 1000 1100 9901 -200. L

(G O E (U) UOp (Sht)

1 4 2 -100.

FBAN

99999

Banco com controle discreto D do tipo limite (coloca a tensão na barra dentro dos limites informados de 1 a 1,1 pu), grupo com 4 reatores de 100 MVar, com 2 ligados (automaticamente)

Dados de Bancos de Capacitores/Reatores Individualizada (DBSH)

Barra De: 9901 Nome: FINAL----500

Barra Para: Nome:

Circuito: Extremidade: Barra De Barra Para

Modo de Controle: Discreto Tipo de Controle: Limite

Barra Controlada

Número: 9901 Nome: FINAL----500

Tensão Mínima: 1000 p.u. Tensão Máxima: 1100 p.u.

Injeção Inicial: -200. Mvar Apagar Dados de Barra

Bancos Shunt

Grupo	Estado	Unidades	Unidades Oper	Injeção
01	L	004	002	-100.

Inserir

Dados de Bancos

Grupo: 01 Ligado

Unidades: 004 Unidades Operação: 002

Injeção: -100. Mvar

OK Cancelar

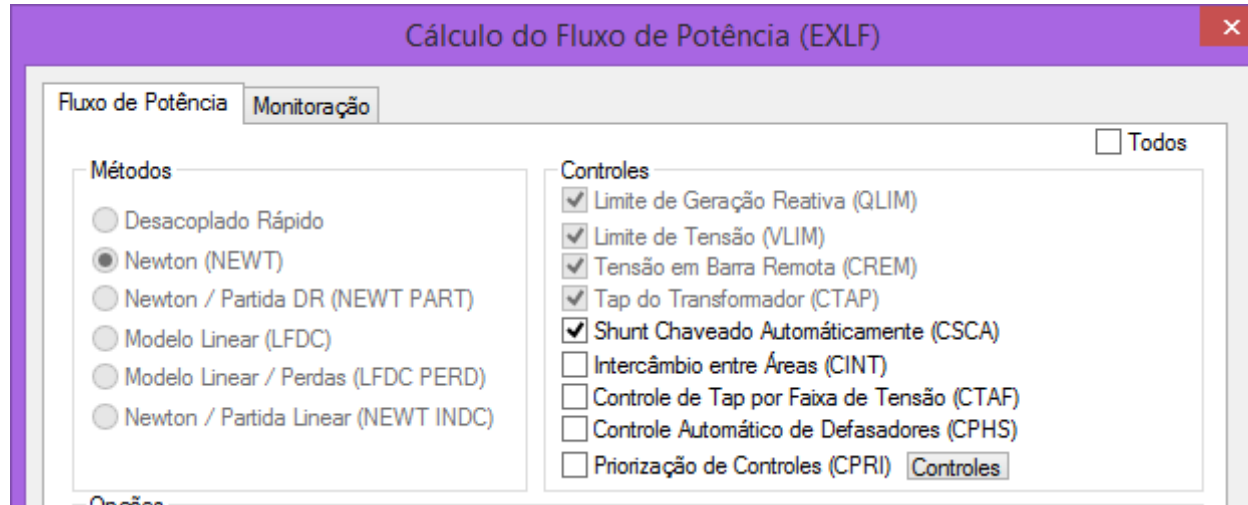
Para que o controle automático do número de unidades ligadas funcione é necessário escolher o modo de controle contínuo ou discreto e ajustar o tipo de cálculo de fluxo de potência para permitir shunt chaveado automaticamente, opção CSCA.

DOPC IMPR

(Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E

QLIM L VLIM L CREM L CTAP L NEWT L **CSCA L**

99999



- Shunt de linha  (negativo reator, positivo capacitor)

DSHL

(De) O (Pa) Nc (Shde) (Shpa) ED EP

9900 9901 1 -50. -50. L L

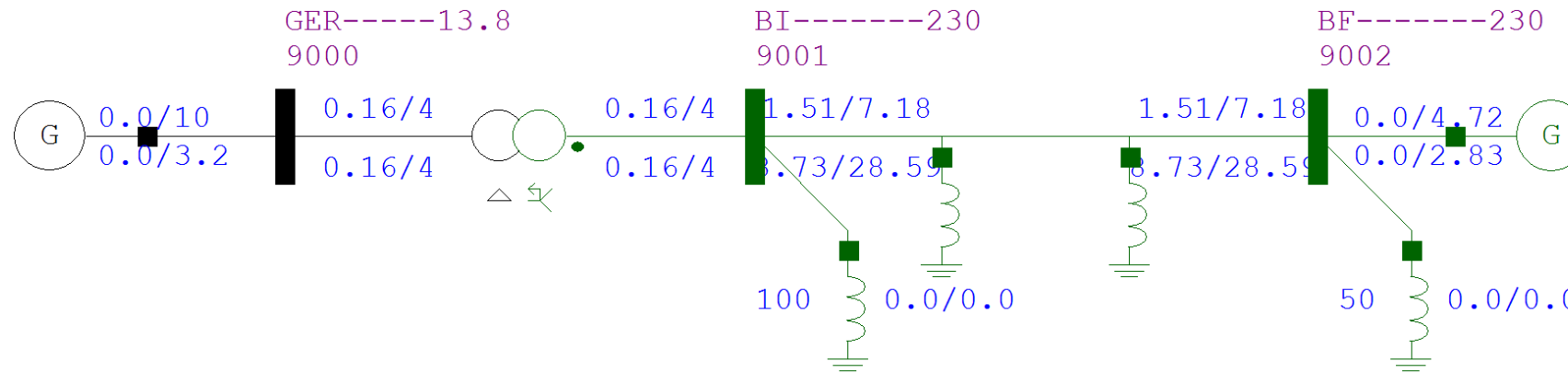
99999

São definidos a potência reativa no início e/ou fim da linha



Reatores - Modelamento no Anafas

Para a inclusão de um reator na rede pela interface gráfica, o mesmo pode ser de barra ou linha.



Dados de Shunt de Barra

Identificação

Barra: 9001 Nome: BI-----230

Grupo: 1 Área: 1 Equivalente Ligado

Reatância (X %): 100

Tipo de Conexão

Delta Estrela não-aterado Estrela aterrado

Resistência de Aterramento (Rn %): 0

Reatância de Aterramento (Xn %): 0

Número de Unidades: 1 Número de Unidades em Operação: 1

Capacidade de Interrupção do Disjuntor (kA):

Inserir Alterar Remover Fechar

Dados de Shunt de Linha

Barra De: 9001 Nome De: BI-----230

Barra Para: 9002 Nome Para: BF-----230

Número do Circuito: 1 Lado: De Para

Grupo: 1 Área: 1 Equivalente

Potência Reativa (Mvar): -50 Ligado

Delta Estrela não aterrado Estrela aterrado

Resistência de Aterramento (%): 0

Reatância de Aterramento (%): 0

Bypass (Aterramento)

Número de Unidades: 1 Número de Unidades em Operação: 1

Inserir Alterar Remover Fechar

Reatores - Modelamento no Anafas

No programa Anafas os reatores na realidade são uma impedância para a terra com parte imaginária positiva.

```

DCIR
(BF CE BT NCT R1 X1 R0 X0 CN S1 S0 TAP TB TCIA DEF KM CD RNDE XNDE CP RNPA XNPA
(-----
(trrafo 13.8:230 kV Dyn11, x=12%, rat=10 Ohm, 300 MVA
9001 9000 1T .16 4. .16 4.TRAFO 1 30 YN1.8904 d
(linha
9001 9002 1L1.51867.18118.7357 28.59LT230 22.91714.838 1
(
(Equivalente fim da linha x1=15 Ohm, x0=25 Ohm, 230 kV
9002 1G 4.7259 2.8355EQUIV 1
(Gerador 250MVA x"d=25%, x0=8% 13.8 kV
9000 1G 10. 3.2GERAD 1
(Shunts
9001 0 1H999999999999 10000 1 YN
9002 0 1H999999999999 5000 1 YN
99999
DSHL
(-----Dados de Shunt de Linha-----
(BF E BT NCLNG Qpos L Rn Xn E Nome NunNop AAA
(==== =-----
9001 L 9002 1D 1 -50 Y 1 1 1
9001 L 9002 1P 1 -50 Y 1 1 1
99999

```

Para o reator deve ser informado o tipo de ligação para que o Anafas modele corretamente a sequência zero. Deve-se também corrigir a sequência positiva que está como infinito.

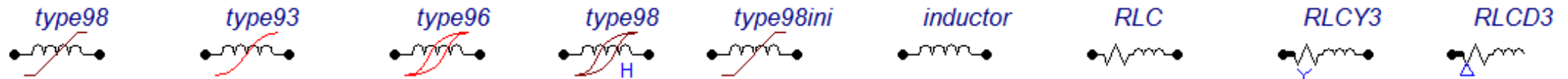
Deve-se lembrar que arquivo .ana gerado pelo Sapre tem o ponto "invisível" na segunda casa.

Reatores - Modelamento no ATP

No programa ATP o reator pode ser modelado de várias maneiras sendo a mais simples usando um elemento RLC genérico.

No de reator trifásico modelam-se 3 monofásicos verificando a ligação, podendo haver por exemplo um reator de neutro.

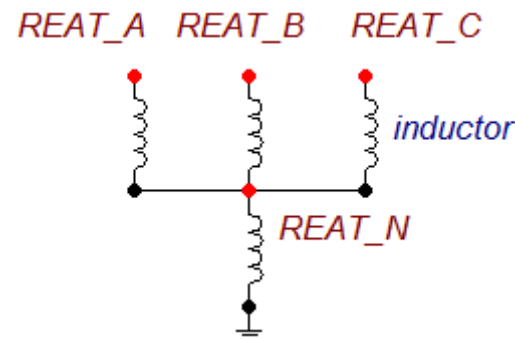
A seguir os componentes que podem ser usados para modelamento de reatores.



Os elementos type 93, 96 e 98 tem a característica definida (V_{xl}) pela curva de saturação ou histerese, obtida por ensaio ou fornecido pelo fabricante. A região linear é dada pelo primeiro ponto $I(A) \times \text{Flux}(Wb)$.

Os elementos inductor, RLC, RLCY3 e RLCD3 são lineares e devem ter informados os valores de R e L (ou X , se o flag XOPT for igual a 60 em ATP settings).

Um reator trifásico em Y com neutro aterrado por reator pode ser modelado da seguinte forma:



Attributes			Component: IND_RP		
DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
L	mH	1	From	1	REAT_A
Kp	Damp. 5-10	0	To	1	

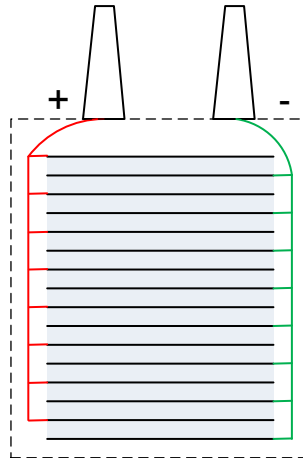
Bancos de capacitores

Bancos de capacitores podem ser usados para elevação de tensão em barras com problema de subtensão, correção de fator de potência, proteção contra surtos atmosféricos ou para compensação da reatância de linhas longas.

Em muitos casos o banco de capacitores é parte integrante de filtros de harmônicas. Em 60 Hz, a função é somente correção de fator de potência, para harmônicas, como o banco está associado a outros elementos, o conjunto pode ser um filtro sintonizado, passa alta ou de outro tipo.

A forma de construção básica é na forma de placas paralelas separadas por um material com alta permissividade relativa (isolante).

Exemplo com 16 placas em paralelo montadas em forma de pilha



- Formas de classificação

Quanto ao número de fases os reatores podem ser monofásicos ou trifásicos

Quanto à forma de conexão podem ser "shunt" ou série

Quanto a ligação podem ser em estrela ou triângulo

Bancos de capacitores - Valores nominais

Os valores nominais básicos de um banco de capacitores são:

- Potência nominal (monofásica ou trifásica) em MVar
- Tensão nominal (fase-fase) em kV
- Perdas (kW)
- Tipo de ligação

Caso o banco seja parte integrante de um filtro de harmônicas deve ser informada a topologia e os dados dos demais componentes (resistores, reatores, etc).

BANCO DE CAPACITORES EM DERIVAÇÃO			
1,8 Mvar NOMINAL	15,9 kV NOMINAL	LIGAÇÃO Y-Y	60 Hz
1,35 Mvar EFETIVO	13,8 kV EFETIVO	N.I. 34 / 110 kV	03 FASES
GRUPOS EM SÉRIE POR FASE 01		UNIDADES EM PARALELO POR GRUPO 03	
QUANTIDADE TOTAL DE UNIDADES 18		FUSÍVEL TIPO EXPULSÃO 15T	
TEMPO MÍNIMO ENTRE DESLIGAMENTO E RELIGAMENTO 10 MINUTOS			
TEMPO PARA TENSÃO RESIDUAL ATINGIR 50 VOLTS 5 MINUTOS			
CAT. DE TEMP. -5/C	NBR 5282 / 98	MANUAL INSTR. MPA4099	
2200 kg	DATA	NÚMERO DE SÉRIE PA4099	
NUMERO EQUIPAMENTO: 4-90-10-0-61-46		TAG: BC-02-01	
 LAELC Reativos Ltda		AV. EMILIO MARCONATO, 815 JAGUARUNA - SÃO PAULO CNPJ 03.071.946/0001-37 INDÚSTRIA BRASILEIRA	

Exemplo de dados de placa de banco de capacitores

Capacitância - cálculo

- Fórmulas básicas:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}, \quad \omega = 2\pi f, \quad \text{associação em série: } C_{eq}^{-1} = \sum_{i=1}^N C_i^{-1}, \quad \text{em paralelo: } C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i, \quad I = C \frac{dV}{dt}$$

Para um capacitor com 2 placas paralelas, a capacitância em Farad (F) é dada por:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d}, \quad \text{onde:}$$

ε_r é a permissividade relativa do material que separa as placas,

$\varepsilon_0 = 8,85419 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$ é a permissividade relativa do vácuo (igual a do ar),

A é a área de cada placa e d é a separação entre as placas.

Para capacitores com N placas empilhadas separadas por dielétricos iguais (como o da pag. 16):

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} (N-1), \quad \text{o número de capacitores em paralelo é o número de dielétricos.}$$

Para capacitores em paralelo, é como se as placas fossem maiores, devendo ser somadas as capacitâncias.

Há uma relação entre a velocidade da luz no vácuo e as constantes de permissividade e permeabilidade no vácuo: $\mu_0 \varepsilon_0 c^2 = 1$

Capacitor de alta tensão - Exemplo de cálculo

Calcular a capacitância e a potência de um banco de capacitores de 138 kV, ligado em estrela, onde cada fase é composta por 20 unidades em paralelo. Cada unidade é composta por 51 placas montados em forma de pilha, cada placa tem 0,3 m por 0,65 m e é separada da próxima com um isolante de permissividade relativa 5 e espessura de 1 cm.

- Capacitância de 1 unidade

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} (N - 1) = 5 \times 8,85419 \times 10^{-12} \times \frac{0,3 \times 0,65}{0,01} \times 50 = 43,164 \text{ nF}$$

- Capacitância total

$$C_{tot} = 20 \times 43,164 \times 10^{-9} = 0,86328 \text{ } \mu\text{F}$$

- Potência reativa

$$Q_{nom} = YV_n^2 = \omega C_{tot} V_n^2 = 2\pi 60 \times 0,86328 \times 10^{-6} \times 138^2 = 6,1979 \text{ MVar}$$

Deve ser verificada a elevação de temperatura e a suportabilidade do isolamento, dado em kV/m e que depende do tipo de isolante que separa as placas.

Para esse capacitor, a rigidez dielétrica do isolante deve ser maior que 138 kV/cm, sem contar a margem de segurança.

Capacitores - Exemplos



Banco de capacitores de alta tensão com 36 unidades em paralelo por fase

fonte: <http://en.wikipedia.org/>

Capacitores - Modelamento no Anarede

Banco com controle discreto D do tipo limite (coloca a tensão na barra dentro dos limites informados de 0,95 a 1,05 pu), grupo com 2 capacitores de 20 MVar, com 1 ligado (automaticamente)

Dados de Bancos de Capacitores/Reatores Individualizada (DBSH)

Barra De: 9001 Nome: BI-----230

Barra Para: Nome:

Circuito: Extremidade: Barra De Barra Para

Modo de Controle: Discreto Tipo de Controle: Limite

Barra Controlada

Número: 9001 Nome: BI-----230

Tensão Mínima: 0950 p.u. Tensão Máxima: 1050 p.u.

Injeção Inicial: 20. Mvar Apagar Dados de Barra

Bancos Shunt

Grupo	Estado	Unidades	Unidades Oper	Injeção
01	L	002	001	20.

Inserir Alterar Remover

Inserir Alterar Remover Limpar Fechar

Dados de Bancos

Grupo: 01 Ligado

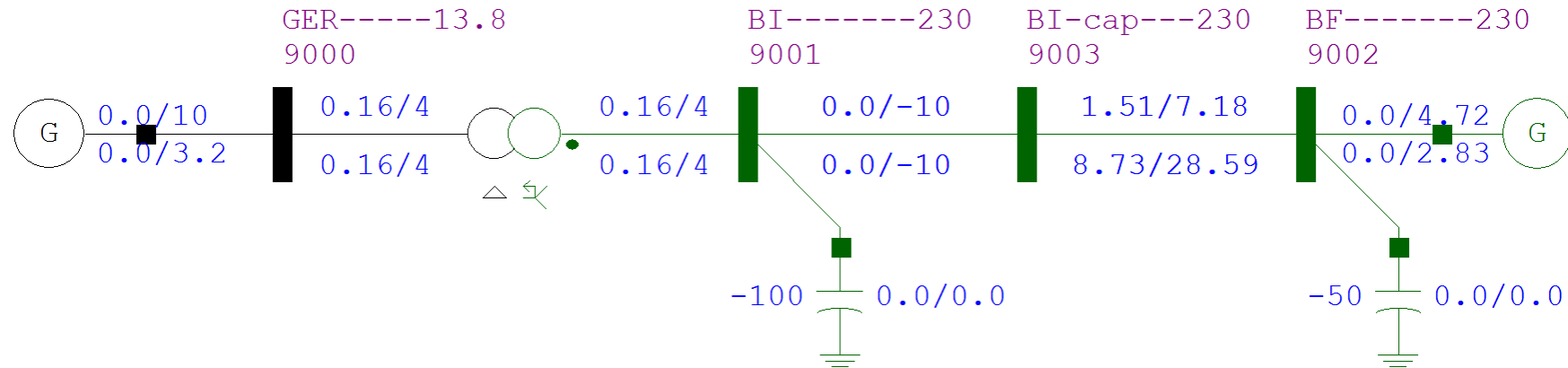
Unidades: 002 Unidades Operação: 001

Injeção: 20. Mvar

OK Cancelar

Capacitores - Modelamento no Anafas

Na inclusão de um capacitor pela interface gráfica, o mesmo pode ser de barra ou em série.



Dados de Shunt de Barra

Identificação

Barra: 9001 Nome: BI-----230

Grupo: 1 Área: 1 Equivalente Ligado

Reatância (X %): -100

Tipo de Conexão

Delta Estrela aterrado

Resistência de Aterramento (Rn %): 0

Reatância de Aterramento (Xn %): 0

Número de Unidades: 1 Número de Unidades em Operação: 1

Capacidade de Interrupção do Disjuntor (kA):

Inserir Alterar Remover Fechar

Dados de Linha CA

Identificação

Barra De: 9001 Nome: BI-----230

Barra Para: 9003 Nome: BI-cap---230

Número do Circuito: 1 Área: 1 Ligado

Nome: Comprimento (km): 0

Sequência Positiva

Resistência (R1 %): 0 Reatância (X1 %): -10

Susceptância (S1 Mvar): 0

Sequência Zero

Resistência (R0 %): 0 Reatância (X0 %): -10

Susceptância (S0 Mvar): 0

Capacidade de Interrupção (kA)

Terminal De: Terminal Para:

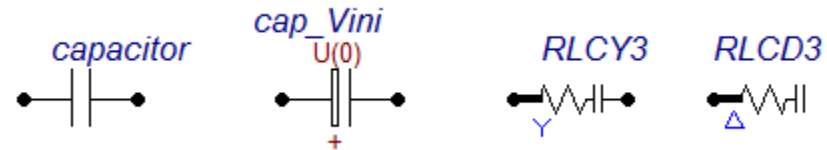
Inserir Alterar Remover Fechar

Capacitores - Modelamento no ATP

No programa ATP o capacitor pode ser modelado usando um elemento RLC genérico.

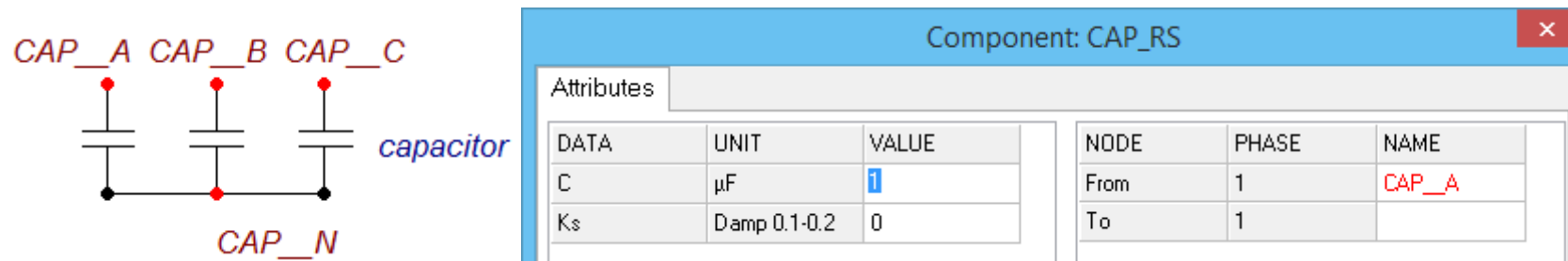
No de capacitor trifásico modelam-se 3 monofásicos verificando a ligação, podendo haver por exemplo um capacitor de neutro.

A seguir os componentes que podem ser usados para modelamento de capacitores.



Os elementos capacitor, RLC, RLCY3 e RLCD3 são lineares e devem ter informados os valores de R e C (Y , se o flag COPT for igual a 60 em ATP settings).

Um capacitor trifásico em Y com neutro não aterrado por capacitor pode ser modelado da seguinte forma:

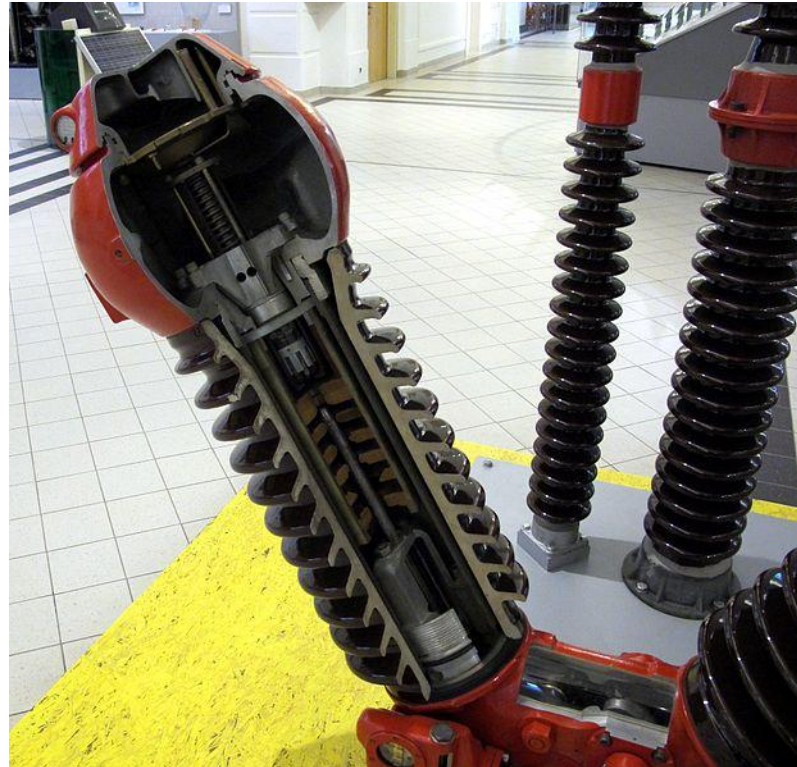


Se for definido o valor K_s é inserida uma resistência em série com o capacitor para redução de erros numéricos causados pelo método de solução, que é a integração trapezoidal.

Disjuntores

Disjuntores são equipamentos que interrompem a passagem de corrente por um equipamento em carga ou em caso de curto circuito, após receber a informação de um relé.

Os disjuntores de alta tensão em muitos casos tem a câmara de extinção com gás SF₆ para garantir a eliminação do arco elétrico que se forma durante a abertura.



Exemplo de disjuntor de alta tensão - Fonte <http://en.wikipedia.org/>

Disjuntores - Valores Nominais

Os valores nominais principais do disjuntor são (valores eficazes):

- Classe de tensão (kV)
- Corrente nominal (A)
- Corrente de curto simétrica (capacidade disruptiva) (kA)

Outros valores são:

- Nível de isolamento (NBI) (kV pico)
- Desvio padrão entre o tempo de fechamento de contatos das 3 fases (ms)
- Envoltória (curva $V \times t$) da tensão de reestabelecimento (fechamento de arco após abertura)

Exemplo (fonte ABB):

Dados Técnicos

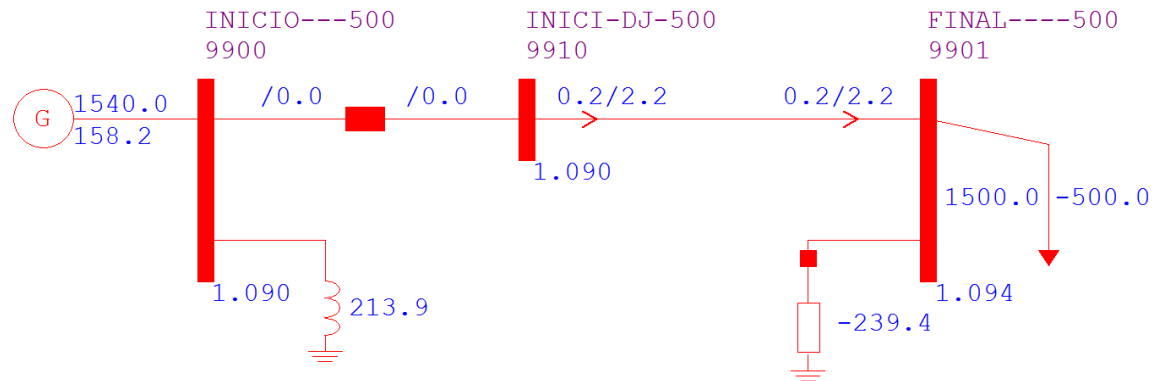
Classe de Tensão (kV)	15
Tensão de Impulso BIL (kVp)	95
Corrente Nominal até 40° C (A)	até 2000
Corrente de curto circuito simétrica (kA)	25
Peso (kg)	600



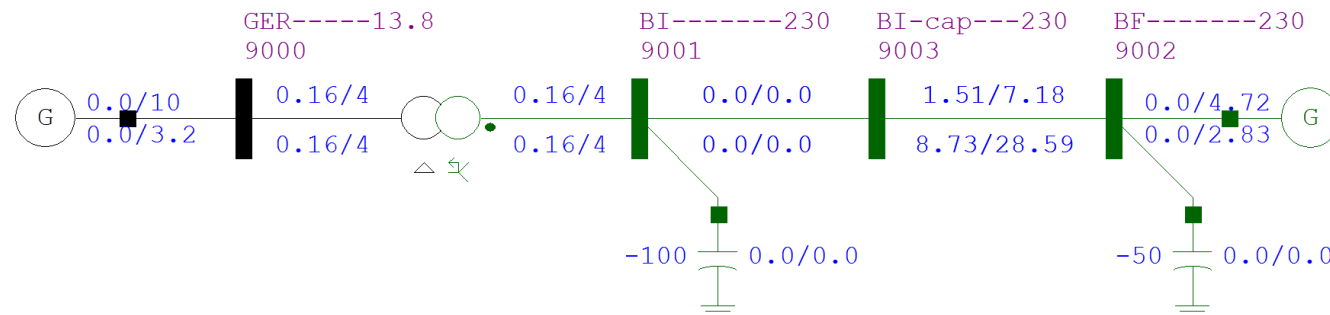
Disjuntores no Anarede e no Anafas

Nos programas Anarede e Anafas o disjuntor ou uma chave devem ser modeladas somente para casos específicos, como por exemplo, para facilitar estudos como fluxo de potência em barramentos ou redução de corrente de curto com seccionamento de barramento.

O valor da impedância do circuito, para uma correta representação gráfica no Anarede (retângulo cheio), deve ser $X=0,001\%$.



Disjuntor no Anarede



Disjuntor no Anafas

Dados de Circuito CA (T)

Circuito

Barra De: 9900 Nome: INICIO---500

Barra Para: 9910 Nome: INICI-DJ-500

Número: 1 Circuitos existentes

Barra Proprietária

De

Para

Barra Controlada

Direção De

Direção Para

Ligado

Capacidade

Normal: 9999 MVA

Emergência: 9999 MVA

Equipamento: 315 MVA

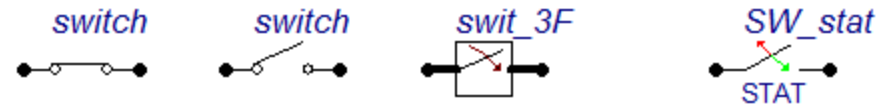
Resistência: %

Reatância: .001 %

Susceptância: Mvar

Modelamento de disjuntores no ATP

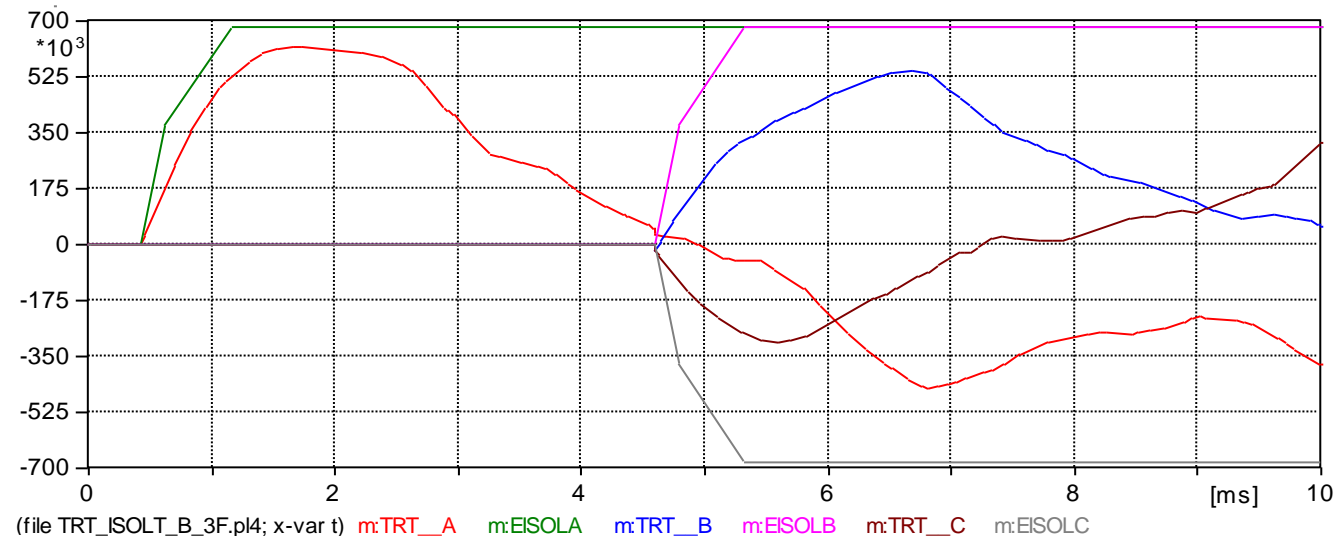
Para estudos simples o disjuntor pode ser modelado como uma chave com tempo de fechamento e abertura definido pelo usuário, os tipos básicos são os seguintes.



As duas primeiras chaves são monofásicas, a terceira é trifásica e a última é estatística, em que o tempo de fechamento ou abertura é sorteado.

Os disjuntores no programa ATP só abrem se a corrente passar pelo zero ou é menor que um valor definido por `imarg`.

As sobretensões entre contatos na abertura de corrente de falta trifásica são comparadas com a envoltória conforme o exemplo a seguir (em que as curvas não cruzaram as envoltórias):



Modelamento de disjuntores no ATP

Exemplo:

Disjuntor trifásico fechando as fases A, B e C em 15, 16 e 17 ms, com margem de corrente 0.

Component: SWIT_3XT

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
T-cl_1	s	0.015
T-op_1	s	1000
T-cl_2	s	0.016
T-op_2	s	1000
T-cl_3	s	0.017
T-op_3	s	1000
Imar	Amps	0

NODE	PHASE	NAME
IN1	1	
OUT1	1	

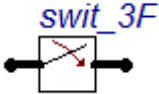
Copy Paste Reset Order: 0 Label: swit_3F

Comment:

Output

0 - No

Hide



Modelamento de disjuntores no ATP

Exemplo:

Disjuntor trifásico com tempo de fechamento estatístico médio de 15 ms e distribuição normal com desvio padrão de 1,25 ms.

Component: SW_STAT

Attributes

STATISTIC SWITCH

Switch type: Master

T: 0.015

Dev.: 0.0125

Open/Close:
 Opening
 Closing

Distribution:
 Uniform
 Gaussian
 Linear

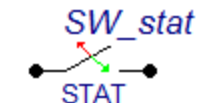
NODE	PHASE	NAME
SW_F	1	
SW_T	1	

Order: 0 Label: SW_stat

Comment:

Output: 0 - No Hide

Edit definitions OK Cancel Help



Chaves seccionadoras

Chaves seccionadoras são usadas para manobras sem carga.



Chave seccionadora de 72,5 kV - fonte ABB.

O modelamento nos programas é o mesmo que o do disjuntor exceto no caso de fechamento estatístico SW_stat que se aplica somente a disjuntores.

Pára-raios

Pára-raios são dispositivos para limitação de sobretensões em equipamentos.

Os pára-raios atuais são feitos com pilhas de pastilhas de óxido de zinco (ZnO) e que são resistências não lineares, sendo praticamente um circuito aberto para tensões nominais e vai se tornando uma resistência bem baixa para tensões um pouco acima da nominal.

O modelamento para simulação de transitórios é baseado na curva $V \times I$ do pára-raios.



Pilha de pastilhas de ZnO

fonte ABB



pára-raios com isolamento polimérico

fonte ABB

Pára-raios - Valores nominais

Os valores nominais principais do pára-raios são:

- Tensão nominal (kVpico)
- Tensão do sistema (kVef)
- Máxima tensão de operação do sistema (kVef)
- Curva $V \times I$ (valores de pico V e A)
- Capacidade de absorção de energia (kJ/kV)
- Classe de capacidade de absorção de energia (1 a 5), maior valor, maior energia

Pára-raios - dados de placa

Exemplo de dados de placa:

Sumário de dados de desempenho

Tensões de sistema (U_m)	24 - 170 kV
Tensões nominais (U_r)	18 - 144 kV
Corrente de descarga nominal (IEC)	10 kA _{pico}
Corrente de classificação (ANSI/IEEE)	10 kA _{pico}
Capacidade de resistência à corrente de descarga:	
Corrente alta por 4/10 μ s	100 kA _{pico}
Corrente baixa por 2.000 μ s	550 A _{pico}
Capacidade de energia:	
Classe de descarga de linha (IEC) [2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	Classe 2 5,1 kJ/kV (U_r)
Cumpre/supera os requisitos do teste de descarga de linha de transmissão ANSI para sistemas de 170 kV.	
Capacidade de curto-circuito /alívio de pressão	50 kA _{sim.}

Pára-raios PXLIM R - Fonte ABB

Pára-raios - dados de placa

Exemplo de dados de placa (continuação):

Tensão máxima de sistema	Tensão nominal	Tensão de operação contínua máxima 1)		Capacidade TOV 2)		Tensão residual máxima com onda de corrente						
		U_C	MCOV	1 s	10 s	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
U_m kV _{rms}	U_r kV _{rms}	U_C kV _{rms}	MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	0,5 kA kV _{pico}	1 kA kV _{pico}	2 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}	40 kA kV _{pico}
24 ³⁾	18	14,4	15,3	20,7	19,8	37,1	38,5	40,3	44,0	46,7	52,3	59,7
	21	16,8	17,0	24,1	23,1	43,2	44,9	47,0	51,3	54,4	61,0	69,7
	24	19,2	19,5	27,6	26,4	49,4	51,3	53,8	58,7	62,2	69,7	79,6
	27	21,6	22,0	31,0	29,7	55,6	57,7	60,5	66,0	70,0	78,4	89,6
36 ³⁾	30	24,0	24,4	34,5	33,0	61,7	64,2	67,2	73,3	77,7	87,1	100
	33	26,4	26,7	37,9	36,3	67,9	70,6	73,9	80,6	85,5	95,8	110
	36	28,8	29,0	41,4	39,6	74,1	77,0	80,6	88,0	93,3	105	120
	39	31,2	31,5	44,8	42,9	80,3	83,4	87,3	95,3	102	114	130
	42	34	34,0	48,3	46,2	86,4	89,8	94,0	103	109	122	140
	48	38	39,0	55,2	52,8	98,8	103	108	118	125	140	160
52	42	34	34,0	48,3	46,2	86,4	89,8	94,0	103	109	122	140
	48	38	39,0	55,2	52,8	98,8	103	108	118	125	140	160
	51	41	41,3	58,6	56,1	105	109	115	125	133	148	170
	54	43	42,0	62,1	59,4	112	116	121	132	140	157	180
	60	48	48,0	69,0	66,0	124	129	135	147	156	175	199
	66	53	53,4	75,9	72,6	136	142	148	162	171	192	219

Pára-raios PXLIM R - Fonte ABB

Pára-raios - modelamento no ATP

Exemplo: pára-raios ZnO para rede com tensão de 138 kV, com tensão nominal de 120 kV, constituído por uma coluna, sem gap (Vflash=-1), modelo com o tipo 92 trifásico:

Component: MOV_3

Attributes Characteristic

Arrester Data

I [A]	U [V]
0.003	120000
500	247000
1000	257000
2000	269000
5000	294000
10000	311000
20000	349000
40000	398000

Add
Delete
Sort
Move
↑
↓

External characteristic

Data source: Edit... Include characteristic

Save... Copy Paste View

Edit definitions OK Cancel Help

Component: MOV_3

Attributes Characteristic

DATA	UNIT	VALUE
Vref	Volts	120000
Vflash	<0: No gap	-1
Vzero	Volts	0
#COL		1
#SER		1
ErrLim	pu	0.05

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label: type92_3F

Comment:

Output: Hide

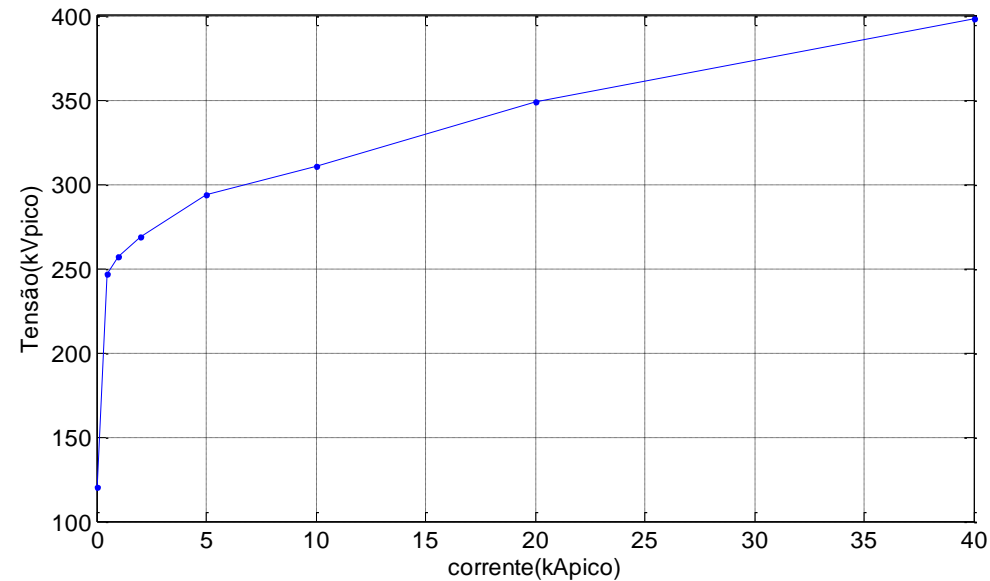
4 - Power&Energy

Edit definitions OK Cancel Help

O programa ajusta a curva $V \times I$ na forma: $I = p \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^q$

Pára-raios - modelamento no ATP

A curva desse pára-raios é a seguinte:



Para esse exemplo o modelo trifásico gerado é o seguinte:

```

/BRANCH
C < n1 >< n2 ><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
92X0039AX0040A          5555.          4
          1.2E5          -1.          1
          0.0030061614284          16.6510143          0.93603546
          0.26863120352          11.022588559          2.2416666667
          48.510078037          5.6123134115          2.5916666667
          9999
92X0039BX0040BX0039AX0040A          5555.          4
92X0039CX0040CX0039AX0040A          5555.          4
  
```

As colunas do ajuste são p , q e a tensão em pu, 3 trechos diferentes, conforme a tensão:

Pára-raios - modelamento no ATP

O modelo desse pára-raios usando o tipo 99 não faz ajuste por exponencial e usa somente os pontos da curva:

```

99XX0017XX0018                                0
      0.003                1.2E5
      500.                2.47E5
      1.E3                2.57E5
      2.E3                2.69E5
      5.E3                2.94E5
      1.E4                3.11E5
      2.E4                3.49E5
      4.E4                3.98E5
      9999
  
```

O modelo 92 também pode ser usado sem ajuste da curva:

```

92XX0019XX0020                4444.                                0
                                -1.
      0.003                1.2E5
      500.                2.47E5
      1.E3                2.57E5
      2.E3                2.69E5
      5.E3                2.94E5
      1.E4                3.11E5
      2.E4                3.49E5
      4.E4                3.98E5
      9999
  
```

Cargas

As cargas são mais importantes para estudos de fluxo de potência.

Em estudos de curto circuito a carga praticamente não altera os valores da corrente de curto por serem equivalentes a impedâncias altas.

Em estudos de transitórios eletromagnéticos as cargas geralmente não são representadas por deixarem os resultados mais conservadores.

- Cargas atenuam transitórios por serem mais resistivas
- Cargas especiais devem ter modelamento específico:
 - Fornos a arco
 - Cargas industriais com retificadores

Os valores nominais de uma carga são:

- Tensão nominal (kV)
- Potência ativa nominal (MW)
- Potência reativa nominal (MVAr)

Também pode ser informado o valor da potência aparente nominal (MVA) e o fator de potência.

Atualmente o ONS informa que o fator de potência de uma carga específica deve ser de 0,95 indutivo.

Cargas - tipos

Os tipos básicos de carga são os seguintes:

- Potência constante (tipo padrão para estudos de fluxo de potência)
- Corrente constante
- Impedância constante (normalmente usados no Anafas, se for considerada a carga e no programa ATP)

O programa Anarede permite cargas com parcelas variáveis de cada modelo.

- Fórmulas básicas:

$$Z_C = \frac{V_n^2}{P - jQ}, R \text{ e } X \text{ em série} \quad R_C = \frac{V_n^2}{P}, X_C = \frac{V_n^2}{Q}, R \text{ e } X \text{ em paralelo.}$$

Se a carga for informada para uma tensão diferente da nominal do sistema a correção depende do tipo de modelo.

$$\text{Modelo P constante: } P_2 + jQ_2 = P_1 + jQ_1$$

$$\text{Modelo I constante: } P_2 + jQ_2 = (P_1 + jQ_1) \frac{V_2}{V_1}$$

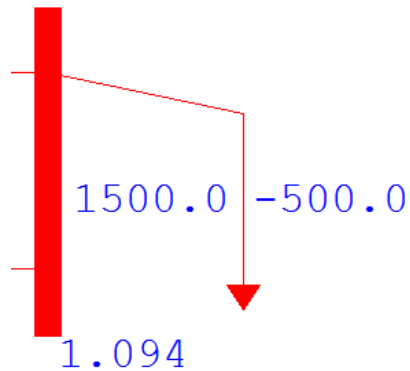
$$\text{Modelo Z constante: } P_2 + jQ_2 = (P_1 + jQ_1) \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2$$

Modelamento da carga no Anarede

A maneira tradicional é modelar a carga nos dados de barra, como no exemplo a seguir:

FINAL----500
9901

Carga com $P=1500$ MW e $Q=-500$ MVar (carga capacitiva),
Definida para a tensão de 500 kV (1 pu)



A carga nos dados de barra está indicada em vermelho:

```
DBAR
(Num)OETGb( nome )G1( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)(Bc )( P1)( Q1)(
Sh)Are(Vf)M(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10
 9900 L2 CINICIO---500 31090 0.1540.158.2-9999999999 -180. 81000
 9901 L CFINAL----500 31094-16. 1500.-500. 81000
99999
```


Modelamento da carga no Anafas e no ATP

No programa Anafas a carga deve ser modelada como impedância para a terra (R e X em série ou paralelo).

A sequência zero deve ser igual à sequência positiva.

No programa ATP a carga deve ser modelada como um elemento RLC para a terra, podendo ser usado o modelo trifásico ou três monofásicos (como no reator e capacitor).

O ATP tem um modelo Load PQ que permite modelar a carga como qualquer um dos três tipos:

Group: LOADPQ

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
FREQ	Hz	50	V	ABC	X0021
UN	kV	0.4			
PN	MW	2			
QN	MVar	0.1			
NP	0..2	0			
NQ	0..2	0			
TStart	s	-1			
TStop	s	1000			

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Group data

Name: LOADPQ Hide

UseAs: LOADPQ1 Protect

Edit definitions OK Cancel Help

