

Dados de placa do gerador

Carcaça	: 1250	Forma construtiva	: D6
Potência	: 43750 KVA	Grau de proteção	: IP54
Tensão Nominal	: 13800 V	Refrigeração	: IC81W
Tipo de Ligação	: Y	Massa aproximada	: 70000 kg
Corrente nominal	: 1830 A	Inércia do Rotor ($J=GD^2/4$)	: 2500 kgm ²
Número de pólos	: 04	Inércia do Volante ($J=GD^2/4$)	:
Frequência	: 60 Hz	Sobrecarga	: 1.1 x In por 1 h cada 6h
Rotação nominal	: 1800 rpm	Sobrecarga Momentânea	: 1.5 x In por 30 s
Regime de serviço	: S1	Corrente curto circuito eficaz	: 9631.6 A
Fator de potência	: 0.8	Corr. Curto Circ. pico assimétrica	: 24518.1 A
Excitação	: BRUSHLESS PMG	Distorção Harmônica ff	: 5 %
Enrolamento amortecedor	: SIM	Fator Interferência Telef. ff	: 3 %
Classe de Isolamento do Estator	: F	Nível de ruído	:
Elevação de temp. do estator	: 80 °C	Vibração	: NORMAL 2.8 mm/s rms
Classe de Isolamento do Rotor	: F	Sobrevelocidade	: 1.2 x n por 120 s
Elevação de temp. do Rotor	: 80 °C	Acoplamento	: DIRETO
Temperatura ambiente	: 40 °C	Máquina Acionante	: TURBINA A VAPOR
Altitude	: 1000 m	Sentido de rotação	: HORARIO
(Olhando ponta de eixo dianteira da máquina)			

Características de Desempenho

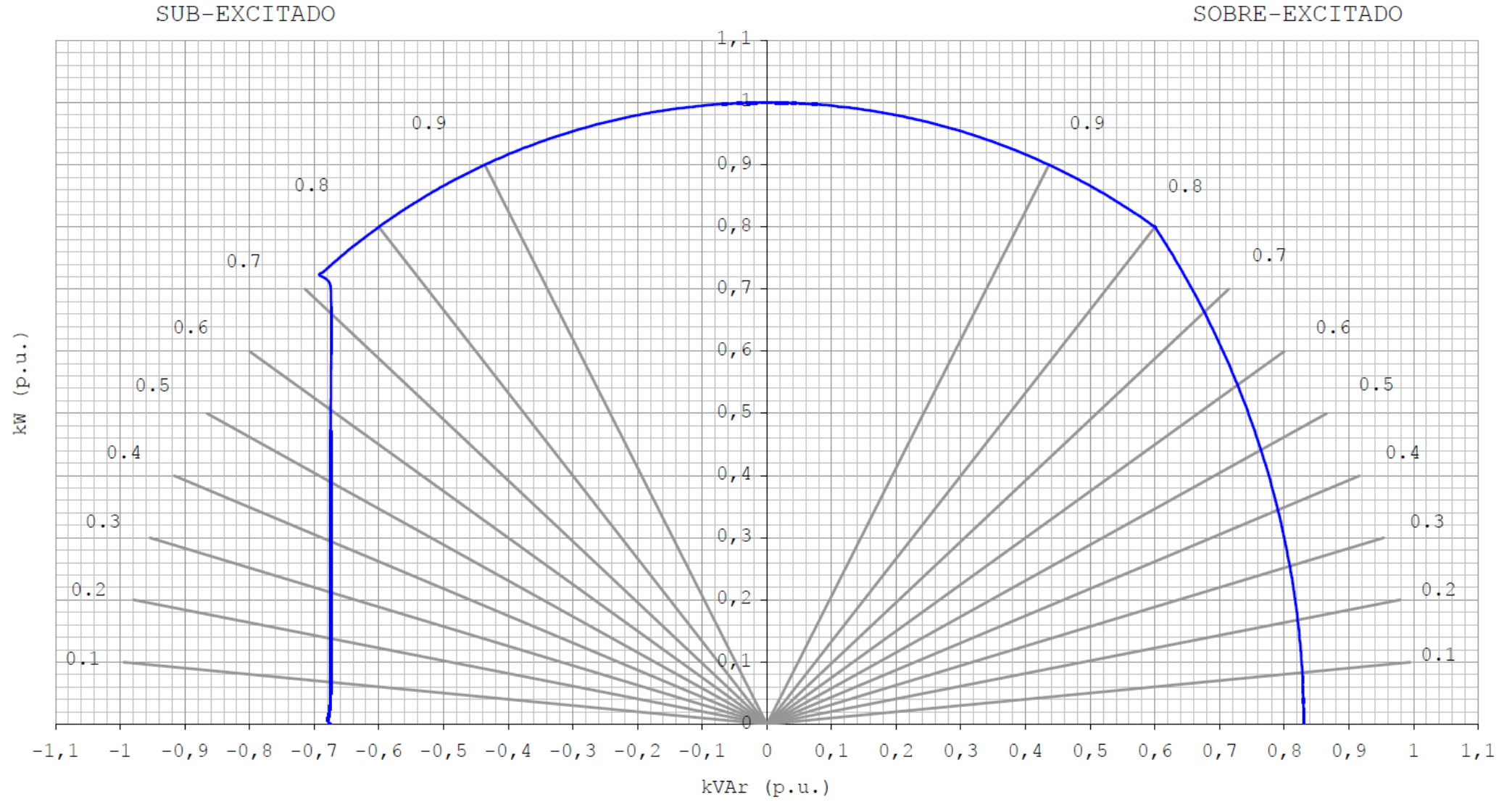
Carga	0%	25%		50%		75%		100%	
Fator de potência	-	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8
Rendimento (%)	-	95.88	94.73	97.7	97	98.3	97.7	98.5	98
Tensão Excitação (V)	19.7	32.3	37.7	38.0	47.5	45.8	58.1	55.0	69.1
Corrente excitação (A)	4.33	6.0	7.0	7.05	8.8	8.5	10.8	10.3	13.0

Reatâncias (p.u.) e Constantes de Tempo (s) - Saturada / Não Saturada

Xd 1.48 /1.66	Xd" 0.19 /0.19	Xq" 0.26 /0.27	X2 0.22 /0.23	Td' 0.5283/0.5332	Tdo' 3.2218/3.6028
Xd' 0.24 /0.25	Xq 1.46 /1.63	X0 0.06 /0.06	Td" 0.028 /0.0296	Tdo" 0.0361/0.0379	Ta 0.3089/0.3157

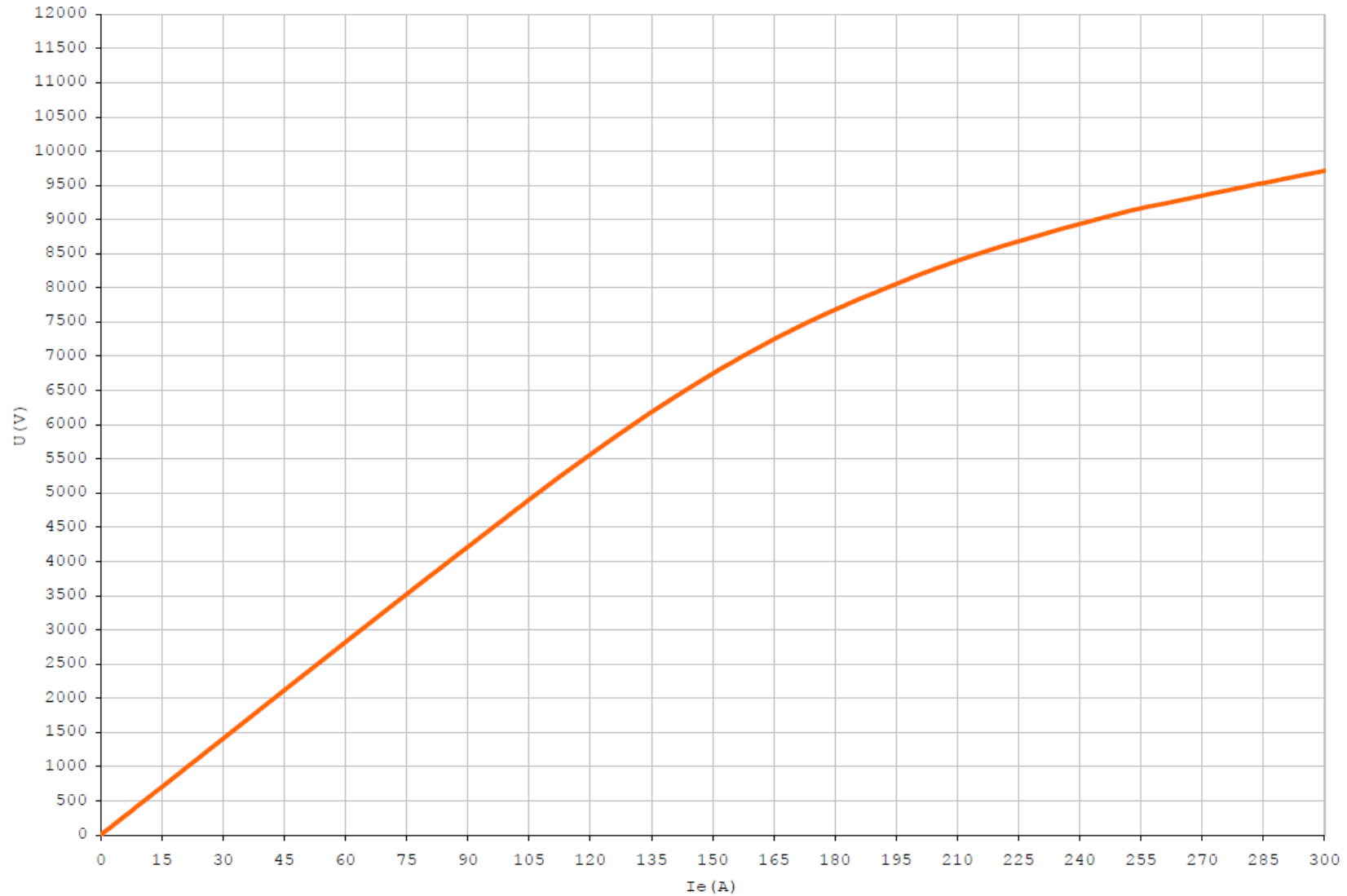
Gerador de 43,75MVA da WEG

Curva de capacidade do gerador



Gerador de 43,75MVA da WEG

Curva de saturação do gerador



Gerador de 43,75MVA da WEG

Modelagem de geradores no programa Anarede

No programa Anarede na maioria dos casos o gerador é modelado como de geração (PV, tipo 1), onde a potência reativa varia para tentar manter a tensão especificada, mas pode ser uma barra de referência ($V\theta$, tipo 2), para a qual se define a tensão e o ângulo ou mesmo uma barra de carga com potência constante injetada (PQ, tipo 0), ou seja, com geração de reativos fixa, sem controle de tensão.

No trecho indicado de arquivo pwf estão os dados de barras com as três possibilidades citadas:

```

DBAR
(Num)OETGb( nome )Gl( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)(Bc ) ( Pl)( Ql)( Sh)Are(Vf)M(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)
(barras dos geradores, 50 MVA, fp 0,8, 13.8 kV
 9011 L2 NB1-2GER-13.8 51000 0 -60. 60. 81000
 9012 L1 NB2-3GER-13.8 51020 0 120. -90. 90. 81000
 9013 L0 NB3-1GER-13.8 51000 0 40. 15.
(barras de carga 81000
 9001 L FBARRA1---230 51000 0 40. 20. 81000
 9002 L FBARRA2---230 51000 0 60. 30. 8 981
 9003 L FBARRA3---230 51000 0 130. 65. 8 981
99999

DLIN
(De )d O d(Pa )NcEP ( R% )( X% )(Mvar)(Tap)(Tmn)(Tmx)(Phs)(Bc ) (Cn)(Ce)Ns(Cq)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)
(trafos elevadores 50 MVA
 9001 9011 1 20. 1. 50 50
....
(linhas 230 kV 100 km
 9001 9002 1 1.519 7.181 22.917 400 400
....
99999

```

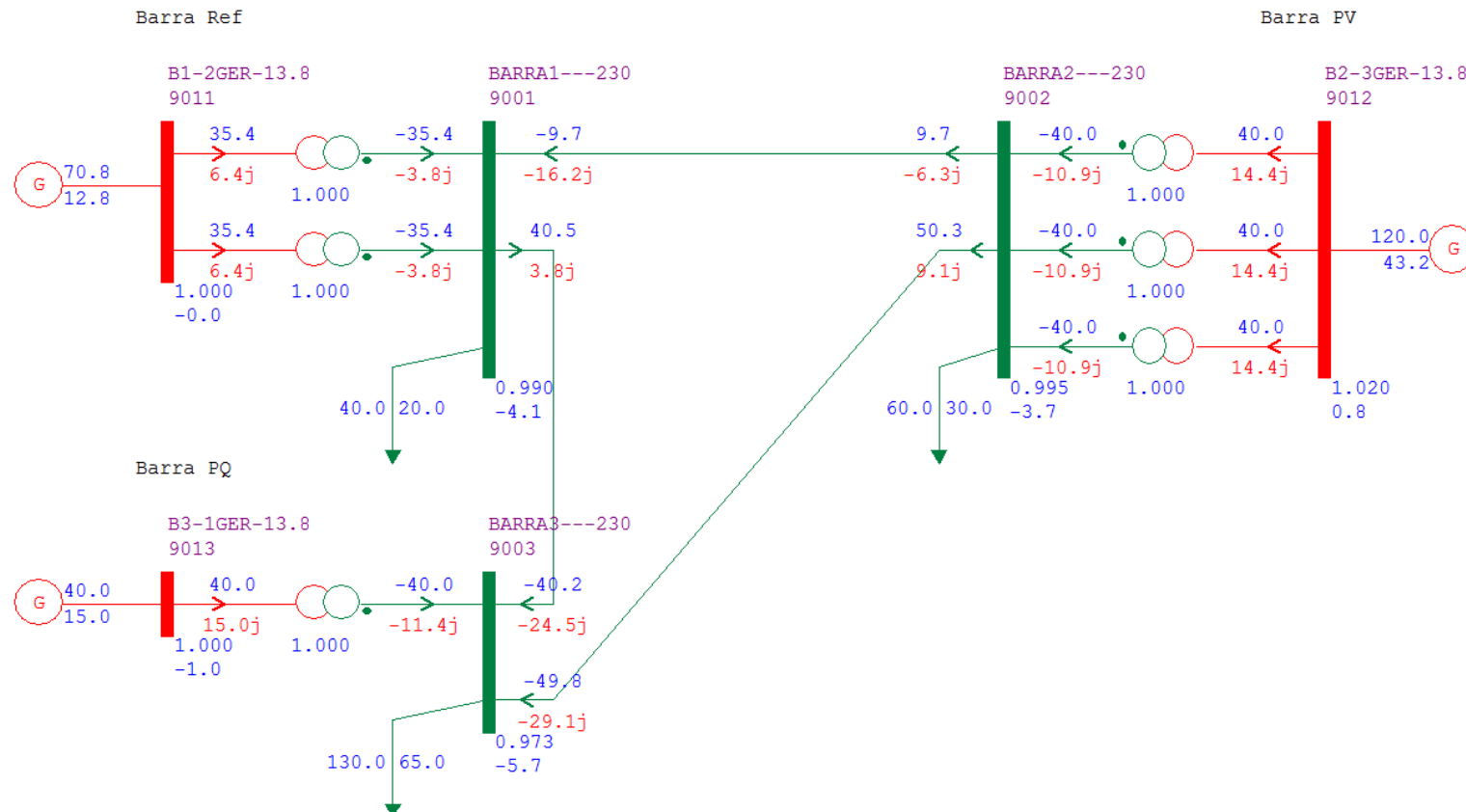
Exemplo de geradores no programa Anarede

Todos os geradores são de 50 MVA, 13,8 kV, fp 0,8. Q definido como 15 MVar na barra 9013.

Como o fator de potência é 0,8, considera-se potência máxima por máquina de 40 MW (50x0,8).

Os limites de reativo serão: $Q_{max} = -Q_{min} = S_{nom} \sin(\arccos(fp)) = 50 \times 0,6 = 30 \text{MVar}$ por gerador.

Foi considerado 1 trafo elevador de 50 MVA, 13.8:230 kV, x=10% por gerador. Fp carga = 0,89443.



Exemplo de geradores no programa Anarede

Dos resultados pode-se verificar que a potência ativa na barra de referência é de 70,8 MW.

A carga total é de 230 MW, a geração máxima possível é de 240 MW.

Caso não houvessem perdas ativas a geração da barra de referência seria de 70 MW, sendo assim as perdas são de 0,8 MW, nas 3 linhas de 100 km.

***** CASO 3 GERADORES ***** PEA 5732 - maio 2014
RELATORIO DE TOTAIS DE AREA

AREA NUM.	GERACAO MW/ Mvar	INJ EQV MW/ Mvar	CARGA MW/ Mvar	ELO CC MW/ Mvar	SHUNT Mvar/ EQUIV	EXPORT MW/ Mvar	IMPORT MW/ Mvar	PERDAS MW/ Mvar
8	230.8 71.0	0.0 0.0	230.0 115.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.8 -44.0
TOTAL	230.8 71.0	0.0 0.0	230.0 115.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.8 -44.0

***** CASO 3 GERADORES ***** PEA 5732 - maio 2014
RELATORIO COMPLETO DO SISTEMA * AREA 8 * * Minha concessionária *

D A D O S - B A R R A										F L U X O S - C I R C U I T O S											
DA BARRA NUM.	KV TIPO	TENSAO MOD/ ANG	GERACAO MW/ Mvar	INJ EQV MW/ Mvar	CARGA MW/ Mvar	ELO CC MW/ Mvar	SHUNT Mvar/ EQUIV	MOTOR MW/ Mvar	PARA BARRA NUM.	NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar MVA/V_d		TAP	DEFAS	TIE	P E R D A S ATIVA REATIVA		TENSAO CIR. ABERTO	
			MVA NOM	MVA EMR		FLUXO %	SHUNT L											MW	Mvar	MOD	ANG
9001	230	0	0.990	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0												
BARRA1	---230		-4.1	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0													
				400.0	400.0		4.8%		9002	BARRA2	---230	1	-9.7	-16.2	19.1			0.02	-22.48		
				400.0	400.0		10.3%		9003	BARRA3	---230	1	40.5	3.8	41.1			0.29	-20.71		
9002	230	0	0.995	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0												
BARRA2	---230		-3.7	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0													
				400.0	400.0		12.8%		9003	BARRA3	---230	1	50.3	9.1	51.4			0.45	-20.05		

Modelagem de geradores no programa Anafas

No programa Anafas o gerador é modelado informando-se as reatâncias sub-transitória de eixo direto, x''_d e de sequência zero x_0 .

Para o gerador da WEG de 43,75 MVA, os dados são os seguintes, com correção para 100 MVA.

Dados de Gerador
✕

Identificação

Barra: Nome: Nome:

Grupo: Área: Eólico (*) Equivalente Ligado
(*) tipo síncrono com conversor de frequência

Sequência Positiva

Resistência (R1 %): Reatância Subtransitória (X''d %):

Reatância de Regime (Xd %): Reatância Transitória (X'd %):

Sequência Zero

Resistência (R0 %): Reatância (X0 %):

Tipo de Conexão

Delta
 Estrela não aterrado
 Estrela aterrado

Resistência de Aterramento (Rn %):

Reatância de Aterramento (Xn %):

Eólico

Corrente Máxima de Seq. Positiva (Imáx Arms): Fator de Potência de Operação (FP_pré):

Tensão Mínima para Injetar (Vmin pu): Potência Ativa Pré-Falta (Pinic MW):

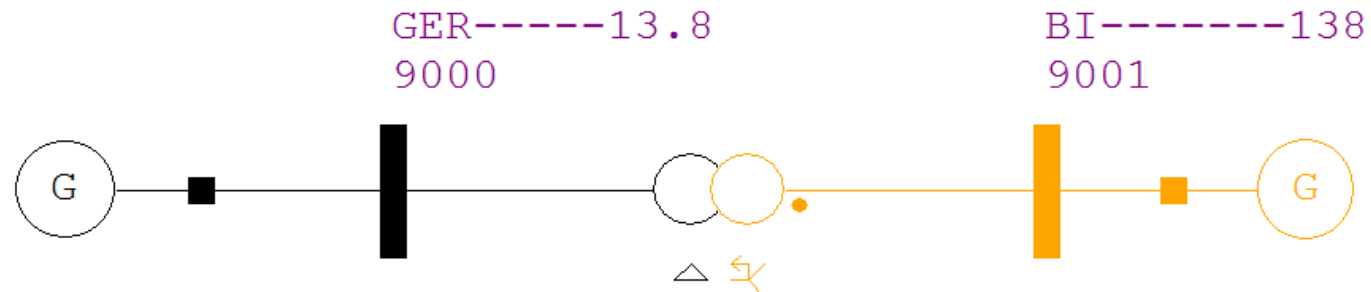
Fator de Potência de Curto (FP_CC):

Número de Unidades: Número de Unidades em Operação:

Número Mínimo de Unidades:

Capacidade de Interrupção do Disjuntor (KA):

Exemplo de gerador no programa Anafas



```

DBAR
(-----Dados de Barra-----)
(NB  CEM      BN      VPRE ANG  VBAS  DISJUN          DDMMAAAADDMMAAAA  IA  SA      V_estendido_dupl
(-----)
 9000  GER-----13.8          13.8    50          1
 9001  BI-----138          138    20          1
99999
DCIR
(-----Dados de Circuitos-----)
(BF  CE  BT   NCT  R1    X1    R0    X0    CN  S1  S0  TAP  TB  TCIA  DEFE  KM  CD  RNDE  XNDE  CP
(-----)
 9000    0   1G    43.429    13.71GERAD    1    YN
 9001    0  10G    5.251    7.8765EQUIV    1    YN
 9001   9000  1T   .16  4.00   .16  4.00TRAFO    1 30    YN1.8904    D
99999

```

OBS - O equivalente na barra 9001 (é modelado da mesma forma que o gerador)

$x_1 = 10\Omega$, $x_0 = 15\Omega$, 138kV, 100MVA

Modelagem de geradores no programa de transitórios eletromecânicos Anatem

Para o programa Anatem o modelamento do gerador utiliza os dados de placa do gerador, a curva de saturação em vazio e os modelos de regulador de tensão e velocidade e estabilizador.

Os parâmetros eletromecânicos do gerador são informados em arquivos texto com extensão .blt.

A seguir um trecho de arquivo .blt obtido do site do ONS mostrando geradores de turbina hidráulica e de usinas térmicas (http://www.ons.com.br/avaliacao_condicao/casos_eletromecanicos.aspx).

```
(=====
( DADOS DE MODELOS DE MAQUINAS SINCRONAS
(=====
(
(** modelos de maquinas c/ rotor liso (usinas termicas) **
DMDG MD03
(..... UNE Angra I
(No)   (CS) (Xd ) (Xq ) (X'd) (X'q) (X''d) (Xl ) (T'd) (T'q) (T''d) (T''q)
0100   100 172.0167.948.8080.0033.70 26.6 5.300.6250.0480.066
(No)   (Ra ) ( H ) ( D ) (MVA) Fr C
0100   3.859 760.0 N
...
999999
(
(** modelos de maquinas c/ polos salientes (usinas hidroelétricas)**
DMDG MD02
...
(..... UHE Agua Vermelha ( J. E. Moraes )
(No)   (CS) (Xd ) (Xq ) (X'd)   (X''d) (Xl ) (T'd)   (T''d) (T''q)
0500   0500 91.0057.0026.00   21.0015.00 6.20   .043 .074
(No)   (Ra ) ( H ) ( D ) (MVA) Fr C
0500   4.030 250.0 N
...
999999
```

Exemplo de modelagem de gerador no Anatem

Para o gerador de 43,75MVA da WEG, com os dados de placa indicados anteriormente, o arquivo .blt é o seguinte:

```
DMDG MD03
(UTE Porto das Águas
(G1 e G2 WEG
          *           *           *           *
(No)   (CS) (Xd ) (Xq ) (X'd) (X'q) (X''d) (Xl ) (T'd) (T'q) (T''d) (T''q)
9050   9050 166. 163.  25. 27.5 19. 15.  3.603 .72 .0379 .076
(No)   (Ra ) ( H ) ( D ) (MVA) Fr C
9050           1.015  43.75  N
999999
(
( dados de curvas de saturação
DCST
(No)   T ( Y1 ) ( Y2 ) ( X1 )
9050   2  0.0245  7.9174  0.8
(
999999
(
FIM
```

Os dados indicados em verde foram obtidos diretamente dos dados de placa, considerando os valores não saturados e as constantes de tempo de circuito aberto $T'q_0$, $T''d_0$, etc.

Os dados em vermelho foram estimados e a constante de inércia H e os parâmetros da curva de saturação foram calculados.

Exemplo de modelagem de gerador no Anatem

Conforme a referência Kundur, Power System Dynamics and Stability, EPRI tem-se:

$$x_d \geq x_q \geq x'_q \geq x'_d \geq x''_q \geq x''_d$$

Os parâmetros não fornecidos podem ser estimados conforme as sugestões a seguir, sendo também indicadas as faixas típicas apresentadas na mesma referência (Kundur):

$$x'_q : [0,3;1,0] \quad x'_q = 1,1 \times x'_d$$

$$x_l : [0,1;0,2] \quad x_l = 0,15$$

$$T'_{q0} : [0,5;2,0] \quad T'_{q0} = T'_{d0} / 5$$

$$T''_{q0} : [0,02;0,05] \quad T''_{q0} = T''_{d0} \times 2$$

A curva de saturação é ajustada pela expressão: $\Delta V = Ae^{B(v_s-0,8)}$

Onde ΔV é a diferença entre a tensão saturada e não saturada do gerador.

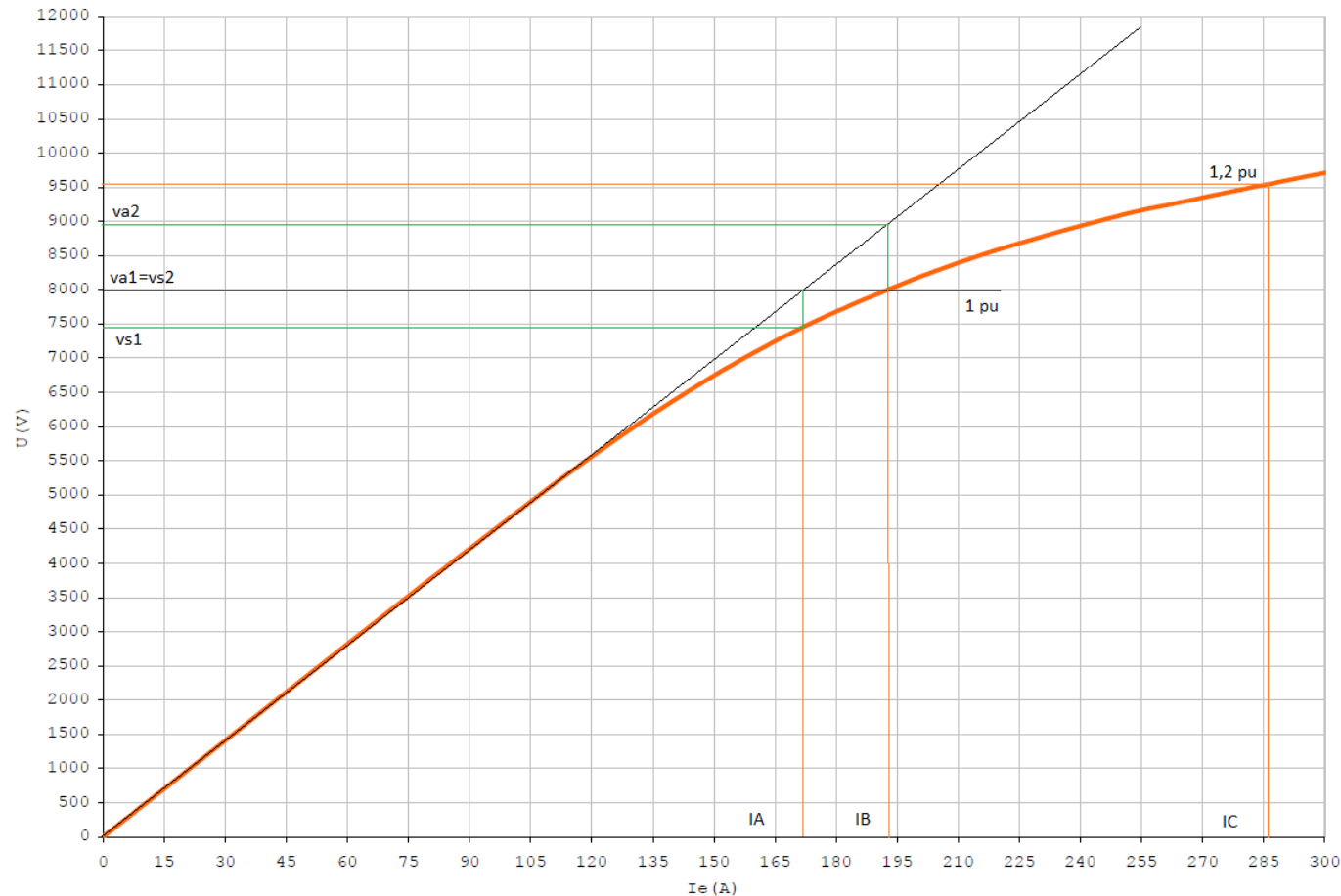
Para obter os valores de A e B deve-se consultar os valores em pu da tensão não saturada em 2 pontos de corrente onde as tensões valem v_{a1}, v_{s1} e v_{a2}, v_{s2} .

$$\Delta V_1 = v_{a1} - v_{s1} \quad \Delta V_2 = v_{a2} - v_{s2}$$

$$\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{Ae^{B(v_{s1}-0,8)}}{Ae^{B(v_{s2}-0,8)}} \quad \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = e^{B(v_{s1}-v_{s2})} \quad B = \frac{\ln\left(\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}\right)}{v_{s1} - v_{s2}} \quad A = \frac{\Delta V_1}{e^{B(v_{s1}-0,8)}}$$

Exemplo de modelagem de gerador no Anatem

Os pontos indicados podem ser correspondentes a IA, onde a tensão é v_{a1} (1 pu) ou v_{s1} e IB onde a tensão é v_{a2} ou v_{s2} (1 pu). A curva de saturação é a da WEG (43,75 MVA).



Para esse caso tem-se: $v_{a1} = 1$, $v_{s1} = 0,931$, $v_{a2} = 1,119$, $v_{s2} = 1$, $A = 0,0245$ e $B = 7,9174$

Exemplo de modelagem de gerador no Anatem

O cálculo da constante de inércia pode incluir o momento de inércia da turbina no caso de hidrogeradores. No caso de usinas térmicas pode-se considerar somente o momento de inércia do gerador.

A constante de inércia H é obtida a partir da rotação nominal, da sua potência aparente e do momento de inércia:

$$H = \frac{1}{2} \frac{J\omega^2}{S_n} \quad \text{onde } \omega = 2\pi f \quad f = \frac{60\text{Hz}}{p}, \quad p \text{ é o número de pares de pólos.}$$

Para o gerador da WEG:

$$J = 2500 \text{ kg} \times \text{m}^2 \quad np = \frac{p}{2} = 2 \quad \omega = 2\pi \frac{60}{2} \quad S_n = 43,75 \text{ MVA} \quad H = 1,015 \text{ s}$$

Além dos dados eletromecânicos do gerador devem ser modelados seus reguladores de tensão e excitatriz, estabilizador e regulador de velocidade.

Modelagem de geradores no programa de transitórios eletromagnéticos ATP

A modelagem do gerador síncrono no ATP pode ser feita com o modelo 58 (machines>SM>58/59 no menu de contexto).

Para o gerador da WEG no modo ATPDraw os dados são:

Component: SM

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Frequency	Hz	60	BUS	ABC	GER58
Power	MVA	43.75	POWER	1	tpow
Voltage L-L	kVrms	13.8	EXFD	1	exfd
Poles	2*PP	4			
Ra	pu	0.03			
Xd	pu	1.66			
Xq	pu	1.63			
Xl	pu	0.15			

Order: 0 Label: ger sincr 58

Comment:

General Field current Masses Output

Steady state Volt: 11268 [V]p L-G Angl: 0 [deg]

Time constants Open Short

Delta connection Type 58 (phase) Parallel operation Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Component: SM

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Xd'	pu	0.25	BUS	ABC	GER58
Xq'	pu	0.275	POWER	1	tpow
Xd''	pu	0.19	EXFD	1	exfd
Xq''	pu	0.27			
Tdo	s	3.6028			
Tqo	s	0.72			
Tdo''	s	0.0379			
Tqo''	s	0.076			

Order: 0 Label: ger sincr 58

Comment:

General Field current Masses Output

Steady state Volt: 11268 [V]p L-G Angl: 0 [deg]

Time constants Open Short

Delta connection Type 58 (phase) Parallel operation Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Modelagem de geradores no ATP

A seguir a última parte dos dados:

The image displays two screenshots of the ATP Component: SM dialog box, illustrating the configuration and output options for a synchronous generator model.

Left Screenshot (Attributes Tab):

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Tdo	s	3.6028	BUS	ABC	GER58
Tqo	s	0.72	POWER	1	tpow
Tdo"	s	0.0379	EXFD	1	exfd
Tqo"	s	0.076			
X0	pu	0.06			
RN	pu	1000000			
XN	pu	1000000			
XCAN	pu	0.15			

Order: 0 Label: ger sincr 58

Comment:

General Field current Masses Output

#Masses:	Mass	EXTRS	HICD	DSR	DSD	DSM	HSP
1	1	1	0.0025	0	0	0	0

Hide

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help

Right Screenshot (Output Tab):

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
Tdo	s	3.6028
Tqo	s	0.72
Tdo"	s	0.0379
Tqo"	s	0.076
X0	pu	0.06
RN	pu	1000000
XN	pu	1000000
XCAN	pu	0.15

Order: 0 Label: ger sincr 58

Comment:

General Field current Masses Output

IA ID IkD MFORCE Angle Speed Torque Hide
 IB IQ IG MANGLE Mass 1 #TACS out
 IC IO IkQ TEG 0
 VF IF TEXC

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help

O momento de inércia é informado na aba masses. Pode-se solicitar vários dados de saída (tela da direita). A corrente nominal de campo é informada na aba field current.

Usando o help o detalhamento das variáveis é exibido.

Motores de indução

Será apresentada a modelagem de motores de indução no programa Anarede, que é baseada no circuito equivalente.


Para programas de curto circuito o motor não é considerado, sendo tratado como uma carga, que também não é considerada devido à baixa contribuição para o curto.

O programa Anafas/Sapre permite a modelagem do motor mas não salva os dados nem considera sua contribuição ao curto.

Caso seja de extremo interesse considerar um motor de indução num estudo de curto deve-se obter a impedância equivalente (predominantemente resistiva) para o motor com potência e escorregamento nominal, a partir do circuito equivalente.

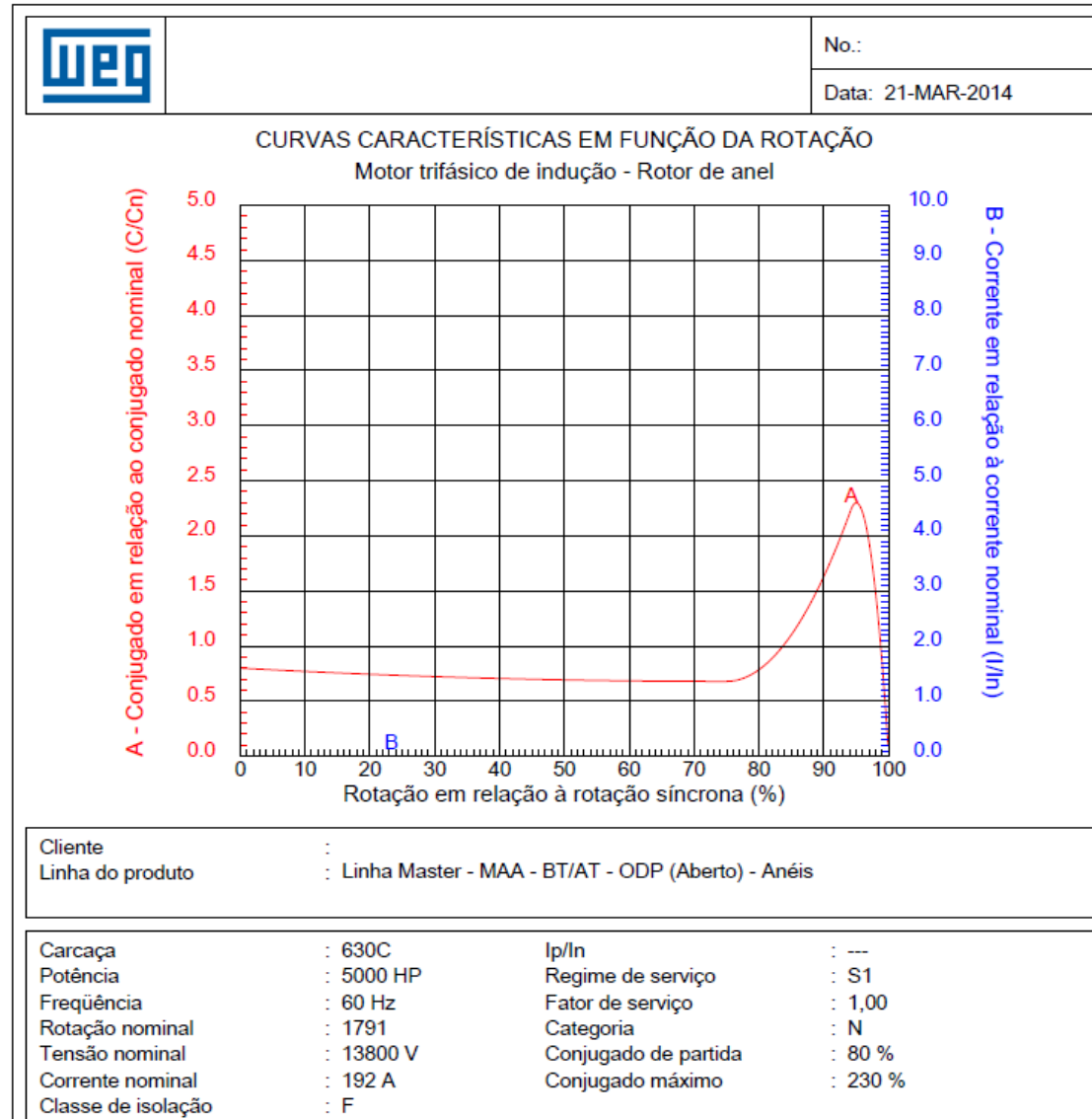
O modelamento do motor de indução no programa ATP é bastante complicado e posteriormente será fornecido o modelo equivalente aos dados de placa indicados anteriormente.

Exemplo de dados de placa de motor de indução

	No.:
	Data: 21-MAR-2014
FOLHA DE DADOS Motor trifásico de indução - Rotor de anel	
Cliente	:
Linha do produto	: Linha Master - MAA - BT/AT - ODP (Aberto) - Anéis
Carcaça	: 630C
Potência	: 5000 HP
Frequência	: 60 Hz
Polos	: 4
Rotação nominal	: 1791
Escorregamento	: 0,50 %
Tensão nominal	: 13800 V
Corrente nominal	: 192 A
Corrente de partida	: ---
Ip/In	: ---
Corrente a vazio	: 36,5 A
Conjugado nominal	: 21340 Nm
Conjugado de partida	: 80 %
Conjugado máximo	: 230 %
Categoria	: N
Classe de isolamento	: F
Elevação de temperatura	: 80 K
Tempo de rotor bloqueado	: ---
Fator de serviço	: 1,00
Regime de serviço	: S1
Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C
Altitude	: 1000
Proteção	: IP23
Massa aproximada	: 12560 kg
Momento de inércia	: 203,92 kgm ²
Nível de ruído	: ---



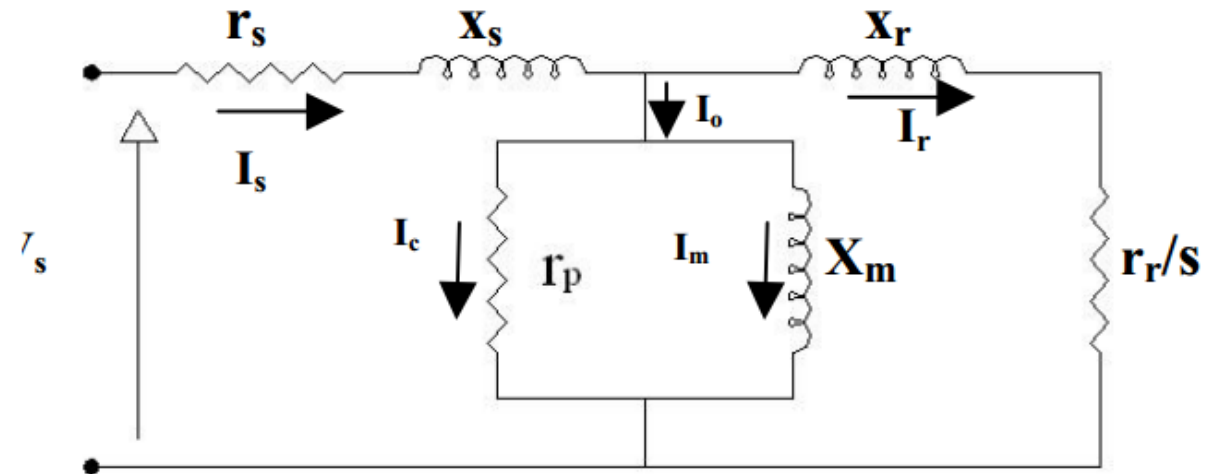
Exemplo de curva de conjugado de motor de indução



Curva conjugado x rotação

Circuito equivalente de um motor de 5000 cv

Parâmetro	Valor
Tensão nominal	13,8 kV
Potência nominal	5000 cv
Rotação nominal	713 rpm
Rotação síncrona	720 rpm
Pares de pólos	5
Escorregamento nominal	0,97%
I_p/I_n	6,3
Corrente nominal	200 A
Rendimento	96%
Fator de potência nominal	0,9
Resistância do estator	0,6%
Reatância do estator	9%
Reatância de magnetização	320%
Resistância do rotor	1%
Reatância do rotor	7%
Momento de inércia	741 kg m ²
Constante de inércia	0,56 s
Tempo de rotor travado	30 s

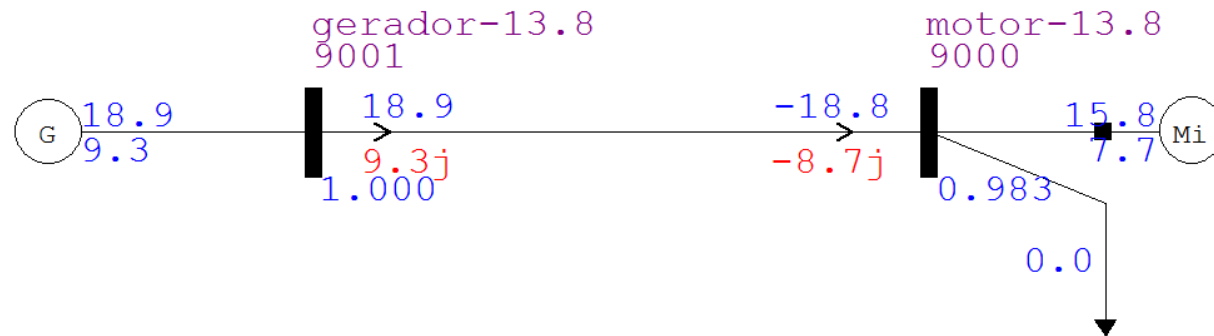


Modelagem do motor no programa Anarede

No modo texto o modelo do motor anterior é o seguinte, com a potência em hp e R e X em %:

```
DMOT
(Num) OE GrS (C) (U) ( Rs) ( Xs) ( Xm) ( Rr) ( Xr) (HPb) (T) (P) (B)
9000 1 100 5 .6 9. 320. 1. 7. 4933.
99999
```

Nesse exemplo são 5 motores iguais na mesma barra operando com 100 % da potência nominal.



Observa-se a potência elétrica (18,8 MW) um pouco maior que a potência mecânica dos 5 motores ($5000 \times 0,000736 \times 5 = 18,4$ MW).

O circuito equivalente normalmente não é fornecido, devendo ser ajustado a partir dos dados de placa, reproduzindo valores básicos como potência nominal, máxima, partida e escorregamento nominal.

Dados de Motor/Gerador de Indução (DMOT) ✕

Barra	
Número: <input type="text" value="9000"/>	Nome: <input type="text" value="motor-13.8"/>
Grupo: <input type="text" value="01"/>	<input type="checkbox"/> Gerador
Número de Unidades: <input type="text" value="005"/>	Carregamento: <input type="text" value="100"/> %
<input checked="" type="checkbox"/> Ligado	
Estator	Rotor
Resistência: <input type="text" value=".6"/> %	Resistência: <input type="text" value="1."/> %
Reatância: <input type="text" value="9."/> %	Reatância: <input type="text" value="7."/> %
Reatância de Magnetização: <input type="text" value="320."/> %	Potência: <input type="text" value="4933."/> HP
Motores Típicos	
Tipo de Motor: <input type="text"/>	
Parcela Carga Ativa: <input type="text"/> %	Percentual Potência Base: <input type="text"/> %
<input type="button" value="Inserir"/>	<input type="button" value="Alterar"/>
<input type="button" value="Remover"/>	<input type="button" value="Limpar"/>
<input type="button" value="Fechar"/>	