

Estudo de caso – SIMple®

Simulação de uma turbina a vapor integrada a gerador conectado à rede

Sumário

Introdução.....	1
O modelo geral.....	3
SIMple® Thermal: Modelando sistemas térmicos	4
SIMple® Power Systems: Sistemas de potência elétrica com análise em transiente	7
SIMple® Control Systems: Controladores industriais ao seu alcance.....	8
Resultados	9
Conclusões	14

Introdução

Turbinas a vapor estão entre os dispositivos mais importantes para a produção de trabalho mecânico e energia elétrica. Seu uso é essencial tanto em usinas de ciclo a vapor, nas quais são o único elemento gerador de potência, quanto em usinas equipadas com o mais eficiente ciclo combinado, nas quais seu funcionamento se dá em conjunto com turbinas a gás, responsáveis pela queima do combustível e pelo fornecimento de calor para a vaporização da água na parte do ciclo a vapor.

Quando o objetivo final é a geração de energia elétrica, as turbinas devem ser integradas a geradores elétricos. Esses equipamentos, por sua vez, são responsáveis por converter o trabalho mecânico gerado pela turbina em energia elétrica e fornecê-la tanto a rede quanto para consumos internos na planta onde a turbina se encontra. O fornecimento de energia para a rede elétrica é, por sua vez, uma tarefa de grande responsabilidade, de modo que, para evitar danos aos

equipamentos e a rede elétrica em si, é necessário garantir que a rotação do conjunto gerador-turbina se iguale a frequência em que esta se encontra, o que por sua vez pode variar de país para país. Isso é feito por meio de controles lógicos que garantem que a sincronização, ou seja, ligação do gerador com a rede ocorra apenas quando as condições necessárias a operação segura forem satisfeitas.

É possível ver que uma planta a vapor é uma instalação de grande complexidade, onde diversos domínios físicos distintos e restrições lógicas coexistem. Apesar disso, a simulação desse tipo de instalação torna-se simples com o uso da biblioteca de simulação de processos industriais SIMple® desenvolvida pela GT2 Tecnologia para a plataforma Altair Activate™. Neste exemplo, será mostrada em detalhes como construir com essa ferramenta um modelo simples de turbina a vapor integrada a rede elétrica

O modelo geral

O diagrama construído com os blocos SIMple® completo pode ser visto na Figura 1 abaixo. Uma característica importante da SIMple® é a existência do *ConfigBlock*, em destaque na imagem e responsável por chamar as rotinas de cálculo desenvolvidas pela GT2 Tecnologia ao longo de seus 10 anos de experiência na criação de simuladores *full scope* para processos industriais

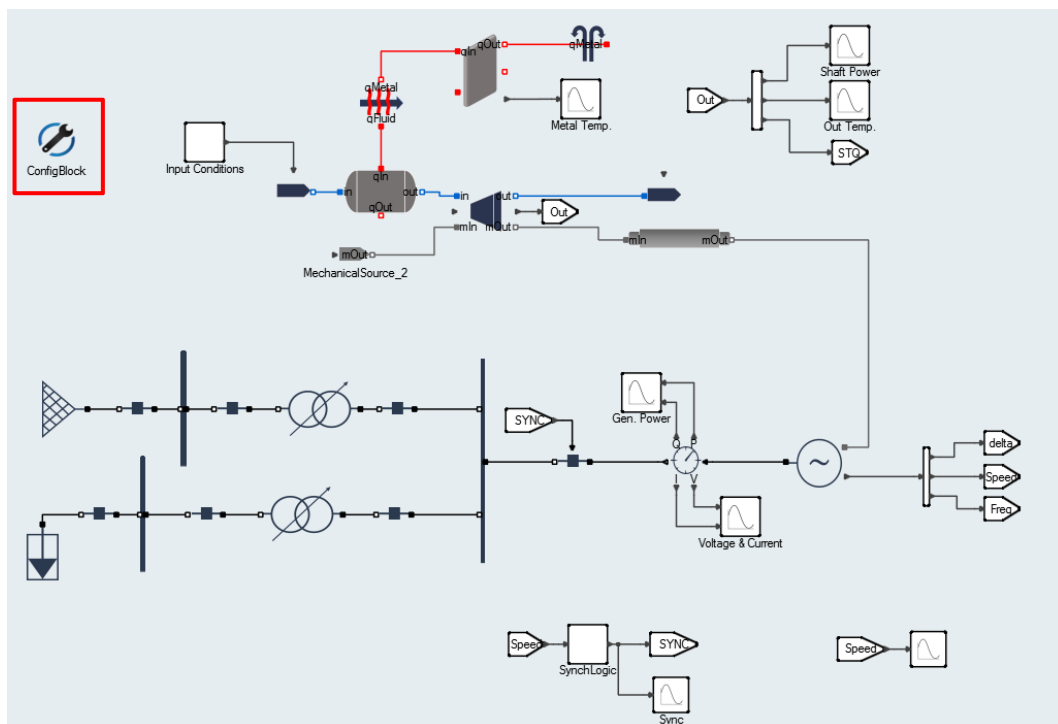


Figura 1 - Diagrama SIMple® para modelo de turbina integrada a rede (ConfigBlock em destaque)

Nesse diagrama são usados blocos das três bibliotecas atualmente disponíveis, cada uma relativa a um domínio do problema: SIMple® Thermal (Fenômenos térmicos, hidrodinâmicos e mecânicos), SIMple® Power Systems (Fenômenos elétricos e estabilidade eletromecânica) e SIMple® Control Systems (Lógicas de controle para controladores industriais). A seguir, são apresentadas em detalhes cada biblioteca.

SIMple® Thermal: Modelando sistemas térmicos

A biblioteca SIMple® Thermal conta com cerca de 60 modelos de alta fidelidade dedicados a simulação de fenômenos termofluidodinâmicos. A biblioteca conta com equipamentos que vão desde válvulas até compressores e turbinas, todos baseados em modelos reconhecidos e literatura, capazes de modelar com precisão fenômenos como mudança de fase, combustão completa e acúmulo de massa, tanto em regime transiente quanto permanente.

Na parte térmica deste exemplo, mostrada em detalhes na Figura 2, o fluxo de vapor imposto parte de um bloco fonte ou *Source*, responsável pela imposição das condições de contorno do sistema, como o estado termodinâmico de entrada do vapor e sua vazão, chega a um *Plenum*, equipamento tipo tanque responsável pelo acúmulo de massa de vapor, passa para a turbina a vapor (*SteamTurbine*), onde a energia contida no vapor é convertida em trabalho mecânico, e sai por um dreno ou *Sink*, que impõe as condições de saída do vapor. Fluxos de fluido em geral são representados por conectores azuis.

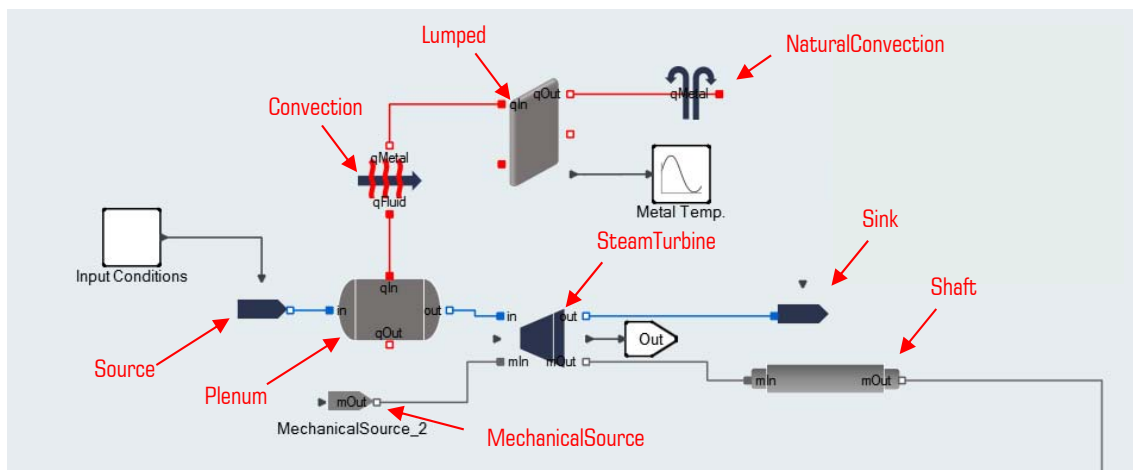


Figura 2 - Esquema da Turbina a vapor montado com blocos SIMple® Thermal (em vermelho, o nome dos blocos)

Além do fluxo de fluido, um fluxo de potência mecânica se faz presente no exemplo. Esse fluxo parte de um bloco *MechanicalSource*, componente não-obrigatório que permitiria o fornecimento de uma potência extra ou imposição de um consumo externo de potência mecânica, segue para a turbina, onde lhe é adicionado a potência gerada pelo dispositivo, e termina em um eixo ou *Shaft*,

equipamento que confere inércia mecânica ao sistema, permitindo o cálculo da rotação em função da potência fornecida. Os conectores de potência mecânica são cinzas.

Outro fluxo importante presente no sistema é o fluxo de calor, representado por conectores vermelhos. Para simular a troca de calor entre o *Plenum* e a carcaça da turbina, simbolizada por um bloco *Lumped*, um acumulador de energia térmica que simboliza uma massa sendo aquecida, é utilizado o bloco *Convection* que simula um processo de convecção forçada, tal como ocorre devido ao movimento do vapor no interior da turbina. As perdas para o ambiente são simuladas por um bloco *NaturalConvection*, responsável por simular a perda de calor por convecção natural da carcaça para o ambiente. Todos os blocos têm propriedades editáveis para permitir a simulação de equipamentos reais. A exemplo, é mostrada na Figura 3 os parâmetros utilizados no modelo da turbina, como eficiência e resistência hidráulica.

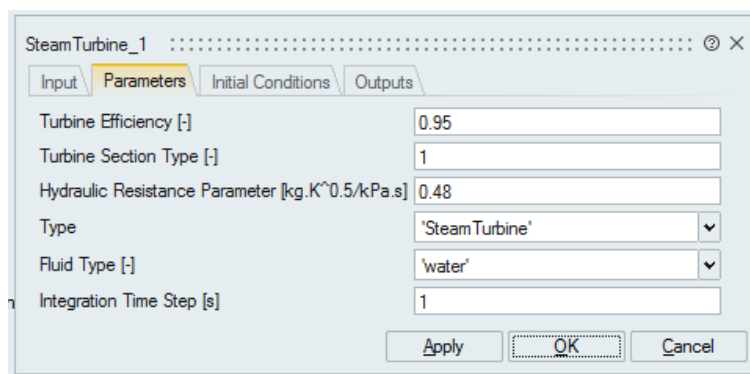


Figura 3 - Parâmetros da turbina

As condições de contorno impostas no *Source* neste modelo não são constantes ao longo do tempo, sendo fornecidas como entradas por blocos nativos do Activate™. Na verdade, a SIMple® tem total compatibilidade com blocos nativos do Altair Activate™, sendo capaz de receber entradas ou externar saídas para blocos nativos da plataforma, tornando a experiência do usuário simples e intuitiva. Para tal, é necessário apenas indicar, na aba *Inputs* do bloco *Source* quais são as entradas a serem fornecidas pelos blocos nativos, o que é mostrado na Figura 4. Procedimento similar deve ser feito para externalizar as saídas de blocos como a Turbina a vapor e no *Lumped*.

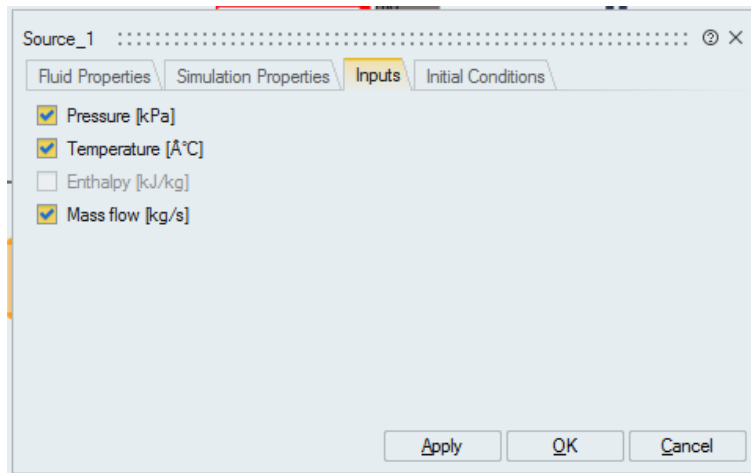


Figura 4 - Seleção de Inputs a serem recebidos pelo bloco Source

Cabe ao *Source* também a definição das propriedades do fluido a serem utilizadas, no painel *Fluid Properties* exibido na Figura 5. A SIMple® conta com uma variedade de fluidos pré-definidos e com o fluido genérico *gas*, que permite a combinação em qualquer proporção de 24 componentes gasosos. Todos os fluidos têm suas propriedades termodinâmicas calculadas com base em correlações clássicas reconhecidas pela literatura.

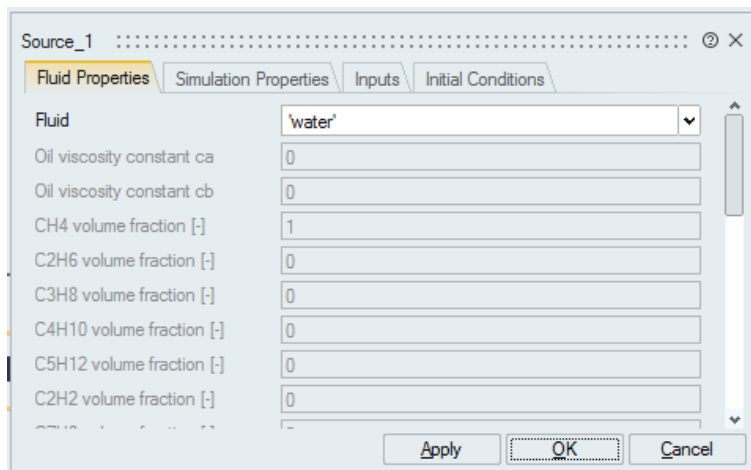


Figura 5 - Seleção de fluido

SIMple® Power Systems: Sistemas de potência elétrica com análise em transiente

A biblioteca SIMple® Power Systems foi desenvolvida para a simulação de sistemas elétricos com alta fidelidade, atendendo mesmo as normas mais rígidas da indústria de simuladores. Junto com a biblioteca Thermal, essa biblioteca abarca os modelos utilizados na única solução brasileira para simuladores *full scope* disponível no mercado, em uso e aprovada por clientes como EDF e Marinha do Brasil.

Esse exemplo mostra como é simples e intuitivo integrar domínios físicos distintos com a SIMple® por meio da integração da turbina com um gerador elétrico e deste com um arranjo típico de sistema elétrico de plantas industriais, mostrado na Figura 6. Nesse arranjo, o gerador (*SynchronousGenerator*) recebe a potência mecânica por um conector do tipo mecânico vindo do eixo da turbina e a converte em potência elétrica a 13,8 kV. Essa potência, por sua vez, pode seguir dois caminhos: o primeiro consiste em passar por um transformador (*Transformer*), que reduz a voltagem para 6,6 kV para uso interno na indústria, consumo esse simulado por uma carga elétrica genérica (*Load*). Já o segundo consiste na passagem da potência elétrica por outro transformador que, desta vez, eleva a tensão a 138 kV para descarga na rede elétrica, modelada por um bloco de barramento infinito (*InfiniteBus*). Outros blocos presentes no diagrama são os blocos de disjuntores (*Switch*), responsáveis por interromper a passagem de corrente por uma linha e os barramentos de corrente alternada (*ACBusbar*), pontos equipotenciais para a ligação de múltiplas linhas. Também há no diagrama um sensor (*PowerSensor*), responsável por exportar para os blocos nativos do Altair Activate™ parâmetros como tensão, corrente e potência do gerador.

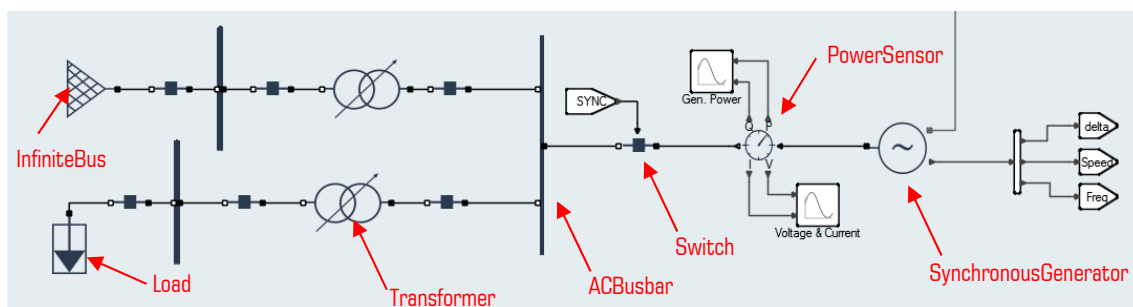


Figura 6 - Esquema do sistema elétrico montado com blocos SIMple® Power Systems (em vermelho, o nome dos blocos)

SIMple® Control Systems: Controladores industriais ao seu alcance

Como a única alternativa brasileira em simuladores *full scope* para plantas industriais, é natural que a GT2 tecnologia tenha acumulado uma larga experiência na área de controladores industriais. Com mais de 30 funções típicas de controladores industriais disponíveis e compatíveis tanto com blocos SIMple® quanto com blocos Activate™, a biblioteca Control Systems permite a implementação simples e o estudo de estratégias de controle simples e avançadas, tornando a construção e análise de técnicas de controle típicas, como *feedback*, *feedforward* e cascata, uma tarefa de poucos minutos.

Nesse exemplo, a lógica de controle foi encapsulada em um superbloco *SynchLogic*, que recebe a velocidade de rotação e externa um sinal *SYNC*, responsável pelo fechamento do disjuntor na saída do gerador e sua subsequente sincronização com a rede. Tanto o diagrama quanto o superbloco podem ser vistos na Figura 7, onde as funções lógicas TON, responsável por um atraso de 1 segundo no sinal de ativação, e RS, função de memória, típicas de controladores industriais, são oriundas da biblioteca SIMple® Control Systems. Com essa combinação de funções, garante-se a sincronização tão logo a velocidade de rotação atinja o valor correto pra rede (no caso, 3000 rpm).

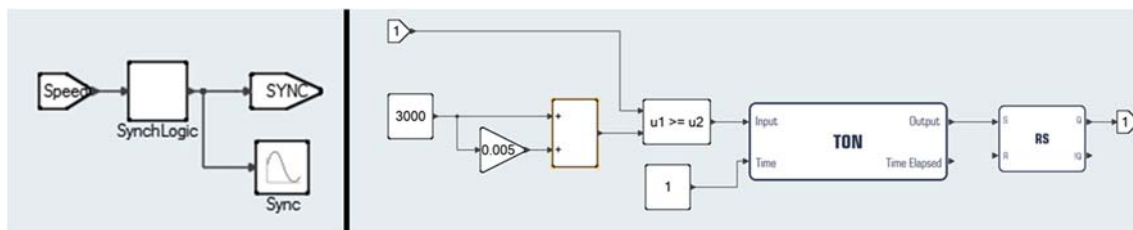


Figura 7 - Bloco SynchLogic e seu diagrama interno

Resultados

O tempo simulado do sistema foi de 500 segundos, entretanto a alta performance dos modelos SIMple® permitiu que os resultados fossem gerados em apenas 31 segundos. A Figura 8 mostra as saídas da janela oml da simulação.



```
oml
Starting Simulation

Simulation [ Demo_ST_Shaft ] information:
Result: Success
State: Stopped
Elapsed time: 31 seconds
Simulation time: 500
>
```

Figura 8 - Saídas da simulação

Na simulação, perturbações senoidais foram introduzidas tanto na pressão quanto na temperatura de entrada do vapor na Turbina, como forma de prever a propagação dessas perturbações na resposta do sistema. Como podemos ver pela temperatura na carcaça da turbina (Figura 9), de fato, essas perturbações senoidais interferiram na resposta do sistema. Esses efeitos também geraram impactos na temperatura de saída do fluido da turbina (Figura 10) e na potência desenvolvida (Figura 11) todas, em menor grau, afetadas por oscilações senoidais.

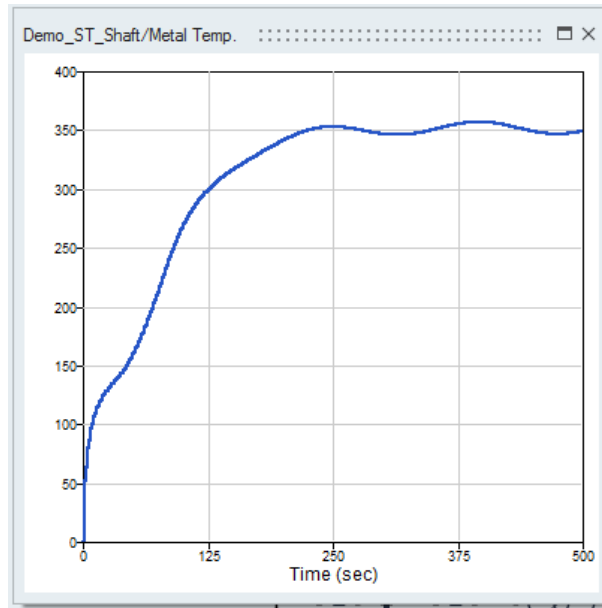


Figura 9 - Temperatura da carcaça da turbina, em °C

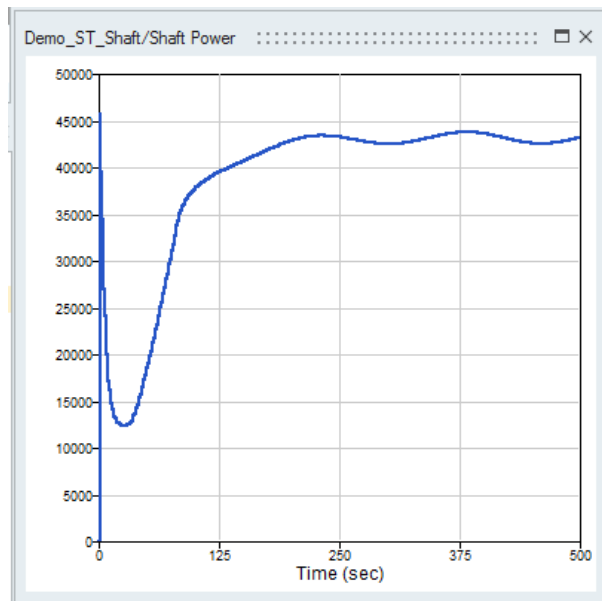


Figura 10 - Potência desenvolvida pela turbina, em kW

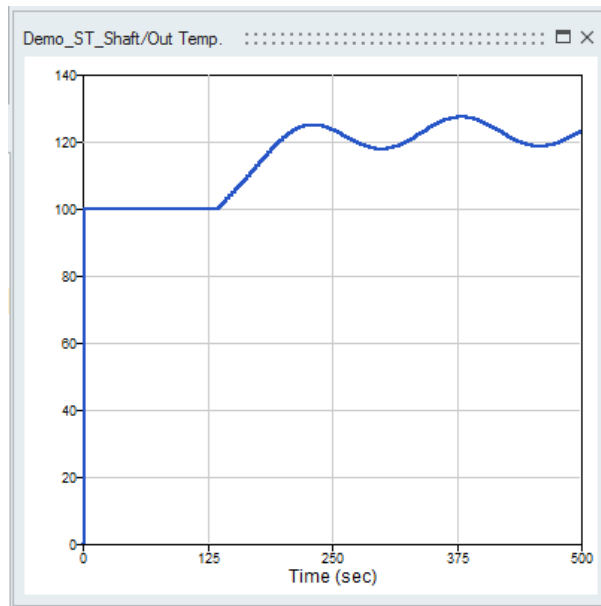


Figura 11 - Temperatura de saída do vapor, em °C

Analisando-se agora as saídas do domínio elétrico, é possível ver que a potência gerada pelo gerador (Potência ativa), mostrada na Figura 12, além de igual a potência da turbina mostrada na Figura 10 para após a sincronização, também apresenta as oscilações senoidais inseridas na entrada, mostrando mais uma vez como a integração de domínios é efetiva com o uso da SIMple®. Além disso, ao observar-se os valores de corrente gerados pelo gerador (Figura 13), é possível notar que ela também segue essa tendência, respeitando a tendência da potência gerada. Isso é esperado uma vez que, devido a tensão de saída do gerador constante, também mostrada na Figura 13, as variações na corrente são o que, de fato, ocasiona a variação de potência.

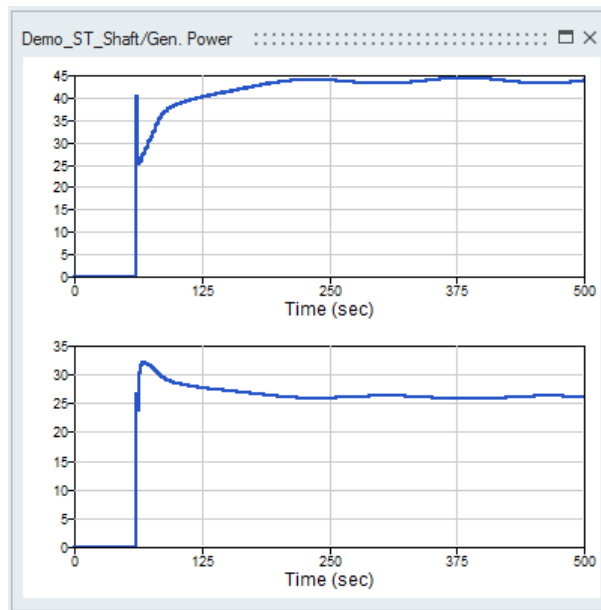


Figura 12 - Potência ativa (acima) e reativa (abaixo) do gerador, em MW

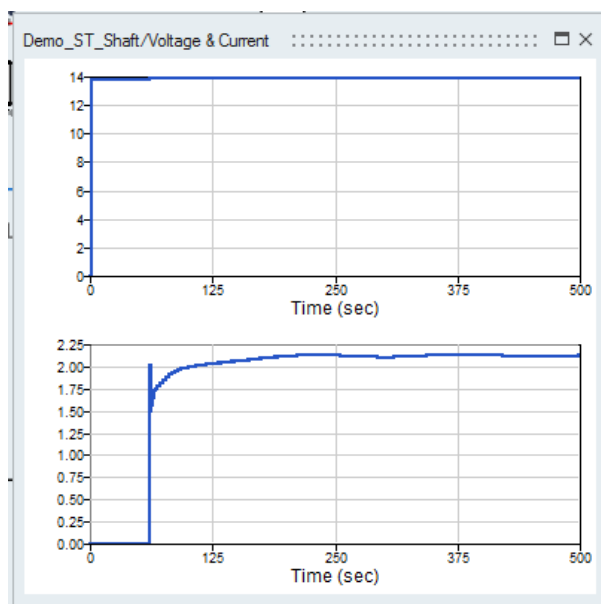


Figura 13 - Tensão (acima) e corrente (abaixo) geradas pelo gerador

Analisando-se agora as saídas de controle e comparando-as com as saídas de elétrica e mecânicas, exibidas na Figura 14. Nota-se que o sinal *SYNC* é acionado tão logo o valor de velocidade de rotação atinge 3000 rpm, valor que corresponde a uma frequência de rede de 50 Hz. Nesse instante, o disjuntor do gerador se fecha e este se liga na rede. Nesse instante, a velocidade de rotação do eixo trava em 3000 rpm, o que era esperado, e assim permanece.

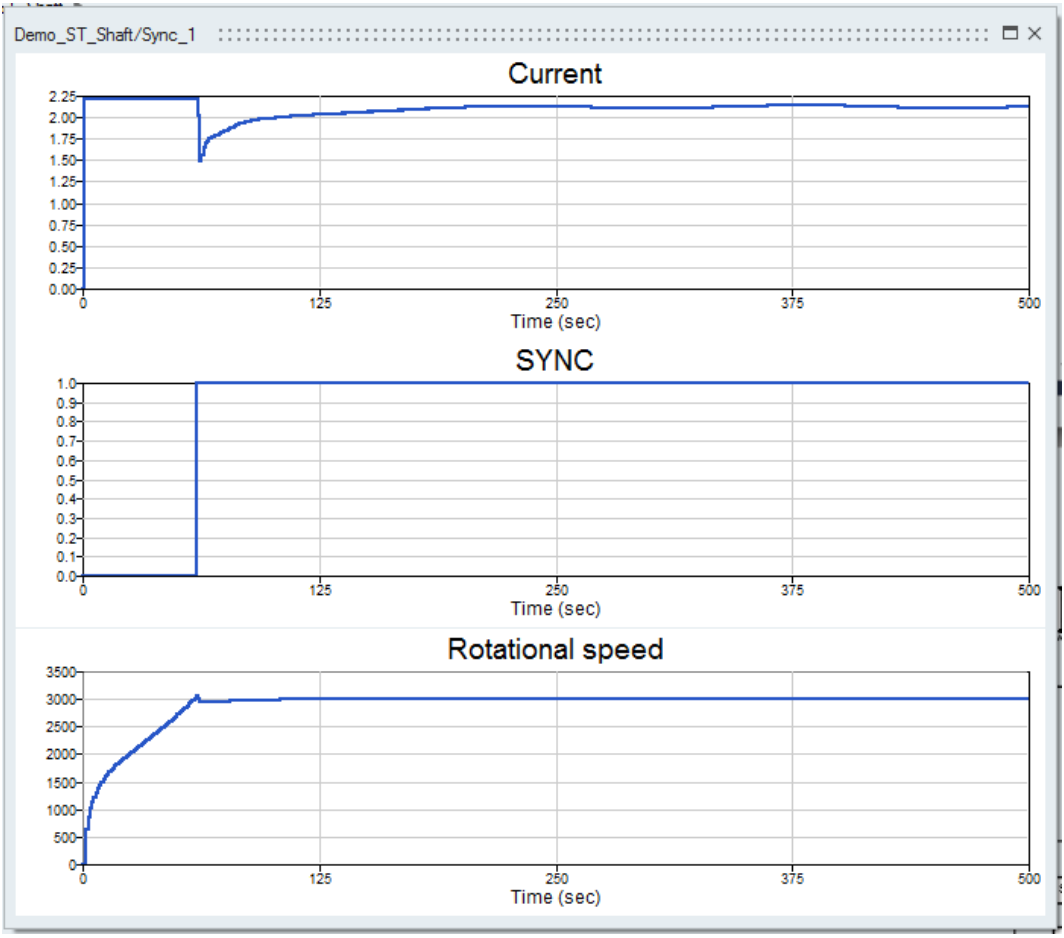


Figura 14 - Corrente, sinal de SYNC e velocidade de rotação

Conclusões

Nesse exemplo foi mostrado o poder da biblioteca SIMple® de modelar e acoplar múltiplas físicas, simulando com precisão fenômenos fundamentais para simuladores de processos industriais. Além do poder dos modelos físicos de alta fidelidade, capazes de gerar resultados plausíveis, respeitando as tendências esperadas e de acordo com as mais rigorosas normas de simuladores, foi também mostrada a eficiência dos modelos de controle contidos na biblioteca, capazes de facilmente montar desde as lógicas de controle clássicas mais simples até lógicas mais elaboradas encontradas em controladores industriais. Os resultados obtidos com a SIMple® foram satisfatórios, estando de acordo com os valores esperados, os acoplamentos entre as físicas se provou eficaz e o tempo de simulação baixo, de menos de 30 segundos para uma simulação equivalente a 500 segundos de funcionamento do equipamento, demonstra o potencial da biblioteca para simulação de processos em tempo real.