

Modelagem Matemática Dinâmica de um Sistema de Geração Hidrelétrica de Energia

Aluno: Alexandre Ricardo Schwaida (alexandre.schwaida@gmail.com)

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho (ruppert@fee.unicamp.br)

Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação - Universidade Estadual de Campinas

Serviço de Apoio ao Estudante - SAE

Palavras chave: Geradores Síncronos - Máquinas Síncronas - Modelos Matemáticos

Introdução

Os geradores síncronos trifásicos são responsáveis pela grande maioria da energia elétrica gerada no mundo atualmente. São usados tanto na alimentação de grandes sistemas de energia elétrica como em geração distribuída ou mesmo na alimentação de sistemas elétricos isolados. A maioria dos estudos de dinâmica de sistemas de energia elétrica é feito através de simulações matemáticas onde a modelagem do gerador é parte de extrema importância como, por exemplo, no estudo da estabilidade dinâmica do sistema. Um sistema de energia elétrica deve ser capaz de suprir as suas cargas continuamente, atendendo a qualquer tipo de variação de potência ativa e reativa. Como a energia elétrica não pode ser armazenada em quantidades suficientes para manter a demanda continuamente é necessário manter e controlar continuamente uma reserva girante adequada de potência ativa e de potência reativa. Este trabalho de pesquisa é destinado a realizar um estudo completo e minucioso sobre a modelagem matemática dinâmica de um sistema de geração hidrelétrica constituído do gerador síncrono trifásico de pólos salientes, da turbina hidráulica e dos reguladores de velocidade e de tensão.

Metodologia

Para desenvolvimento do projeto foram utilizados o aplicativo Simulink e a biblioteca SymPowerSystems do software Matlab.

Na primeira parte do projeto simulou-se o comportamento do gerador síncrono ligado a diversas variedades de cargas lineares constantes, compostas por componentes resistivos, indutivos e capacitivos, ao invés de estar ligado a um barramento infinito de um sistema de energia elétrica, como no projeto anterior. Na segunda parte do projeto estudou-se o funcionamento do gerador síncrono ligado a uma carga cujos valores variavam de acordo com o tempo.

O projeto foi desenvolvido em partes. Primeiro, simulou-se o sistema gerador-carga com os valores constantes de carga. Então, foi realizada a simulação da variação da carga RL ligada ao gerador, variação esta correspondente a alteração do fator de potência de 0,85 indutivo para 0,75 indutivo. Essa variação foi feita através da ligação de uma carga secundária (Three-Phase Parallel RLC Load1), em paralelo com a carga principal (Three-Phase Parallel RLC Load). A carga primária foi ligada a um Three-Phase Breaker, que foi ligado ao gerador. Esse breaker inicia-se fechado e no instante $t=15s$ é aberto. Já a carga secundária foi ligada a um outro Three-Phase Breaker, o qual foi configurado para inicialmente estar aberto, sendo fechado no instante $t=15s$.

A parte posterior consistiu da adição de um controlador PI (Proportional-Integral) para manter a tensão de linha fornecida pelo gerador à carga em 20kV, com torque aplicado de 24,683 MNm.

O controlador PI tem a seguinte função de transferência:

$$K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_P \times s + K_I}{s}$$

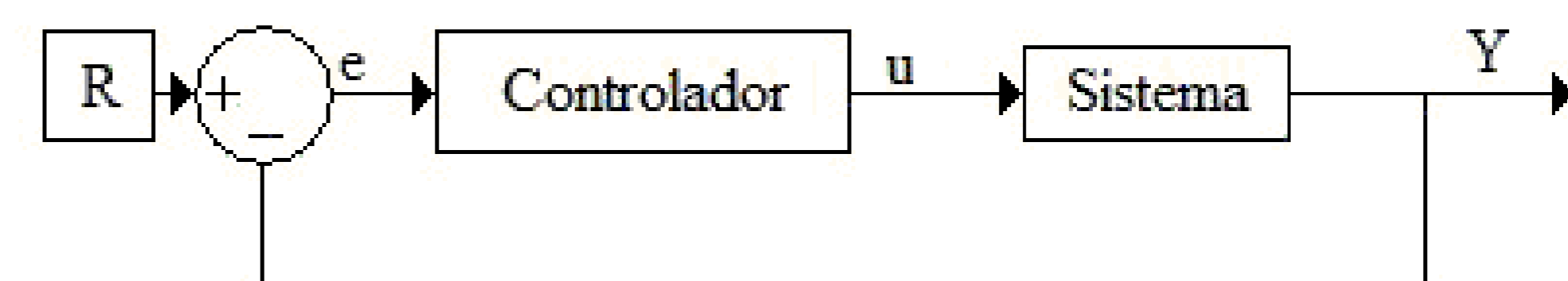
K_P : ganho proporcional;
 K_I : ganho integral.

A variável e representa o erro proveniente da diferença entre o valor desejado (R) e o da saída atual. Esse valor e é enviado ao controlador, o qual realiza a operação mostrada na equação 12. O sinal u , enviado para o sistema, é resultante da função abaixo:

$$u = K_P \times e = +K_I \times \int edt$$

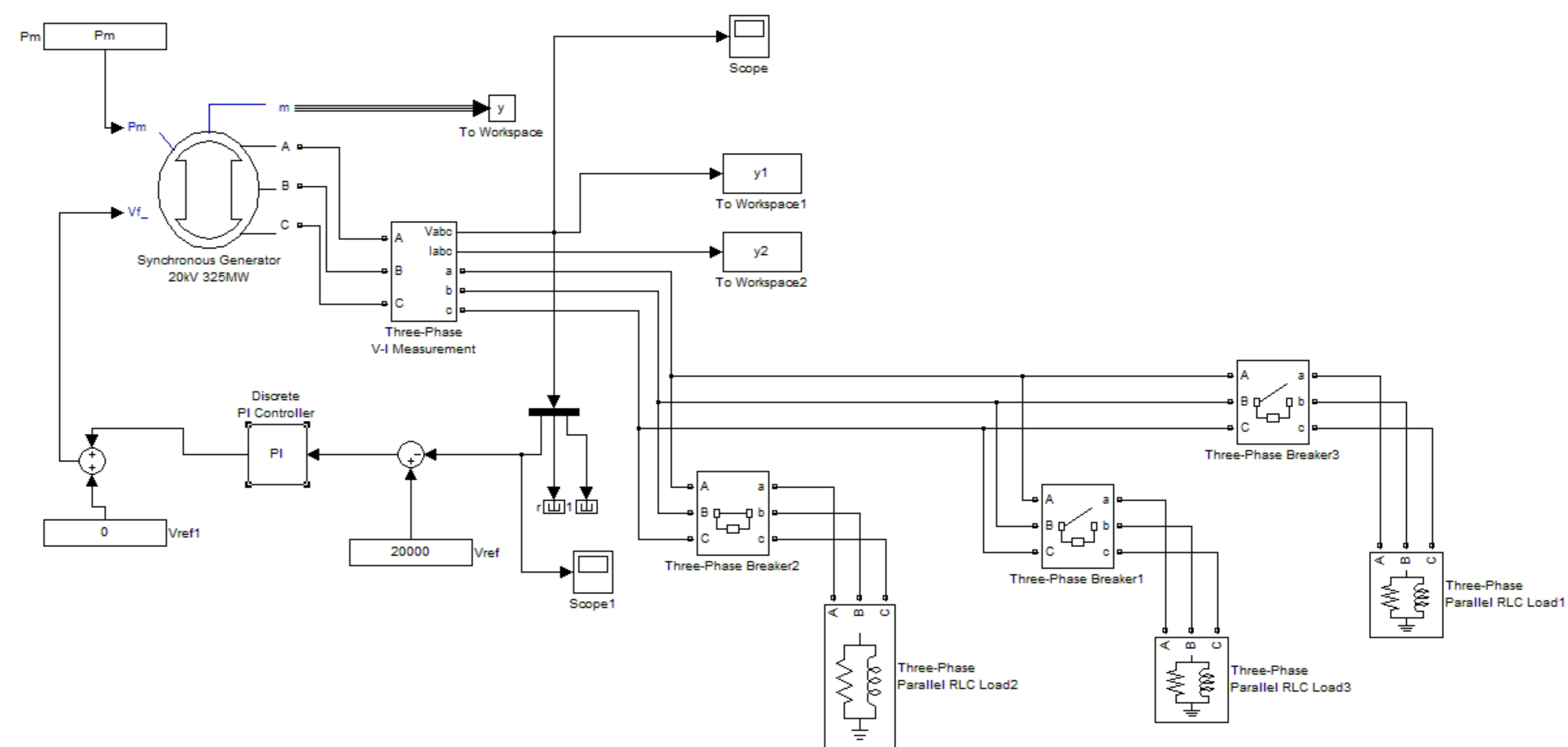
O sinal u é enviado ao sistema e uma nova saída Y será obtida e enviada novamente ao sensor para encontrar um novo sinal de erro e . O controlador calcula, com esse novo valor de e , a nova integral, e isso se repete até que o erro seja mínimo.

A montagem seguiu o seguinte esquema:

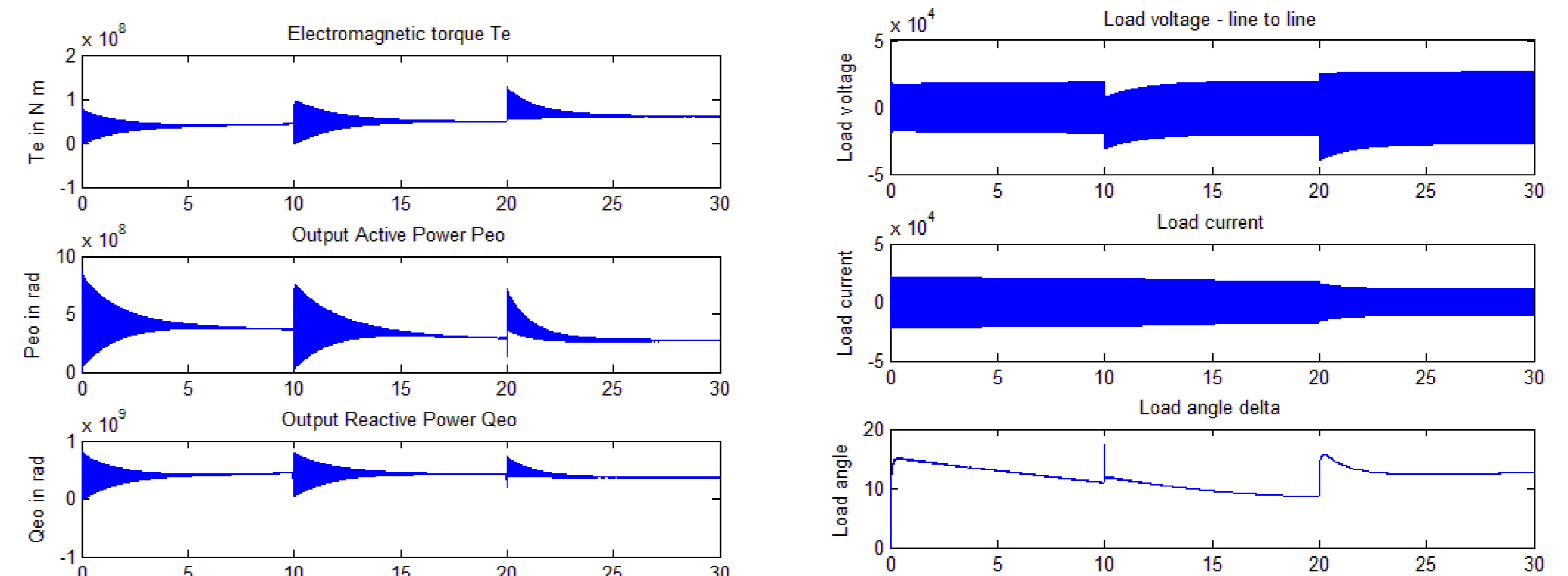


Por fim, uma última análise foi realizada: uma simulação na qual a carga sofria duas variações. A carga inicial apresentava um fator de potência de 0,85 indutivo, no instante $t=10s$ o fator de potência era alterado para 0,80 indutivo, e em $t=20s$ assumia o valor de 0,95 indutivo, sendo finalizada em $t=30s$.

O diagrama para tal simulação no Simulink é mostrado abaixo:



Resultados e Discussões



Conclusões

Durante o regime estacionário, os valores de pico da tensão de linha e da corrente de armadura apresentam-se congruentes com os valores calculados teoricamente. A variação na tensão, durante a alteração da carga, não apresenta uma mudança drástica, mas sim um crescimento amortecido. Já o torque eletromagnético sofre uma mudança muito forte no seu valor nos instantes de variação de carga e depois é atenuado, entrando em regime estacionário. A definição dos parâmetros proporcional e integral do controlador PI, bem como os limites superior e inferior, deve ser feita com cuidado, pois um par de valores quaisquer pode produzir resultados errados. Os resultados obtidos na simulação apresentaram-se congruentes com os calculados algebricamente.

Referências Bibliográficas

Ong, Chee Mun, Dynamic Simulation of Electric Machinery

Fitzgerald, A. E., Electric Machinery