

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM CONJUNTO MOTOGERADOR OTTO

MARCIO DINIZ JUNIOR¹, ALEXANDRE CORRÊIA MELO², MARCELO JOSÉ DA SILVA³

¹Graduando em Engenharia Agrícola, UFPR/Jandaia do Sul-PR, (43) 98413-6781, diniz6139@gmail.com.

²Engenheiro Eletricista, Especialista Controle e Automação, Tribunal de Justiça de São Paulo, alexandre.melo@ymail.com

³Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, UFPR/Jandaia do Sul-PR, marcelo_js@hotmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: No meio rural, um conjunto motor gerador normalmente são aplicados em situações de emergência (interrupções no fornecimento integrado da rede elétrica), ou na geração distribuída de energia a partir de biocombustíveis (biogás, gás de gaseificação ou biodiesel). Neste contexto, a modelagem e simulação de um conjunto motor gerador pode contribuir no dimensionamento e compreensão sobre diferentes condições de operação. Neste trabalho, o objetivo foi simular um sistema de controle para um conjunto motor gerador ciclo Otto, a partir de atuação na válvula borboleta do motor de combustão interna (MCI) e na tensão de campo do gerador. O MCI ciclo Otto (15,8 kW) e a máquina síncrona (gerador de 12,5 kVA) foram representados em modelagem no Simulink que é vinculado ao Matlab (The Mathworks, Inc. Natick, MA). Na simulação do sistema de controle foram aplicadas cargas resistivas e indutivas. Mesmo após os distúrbios de carga, o controle mostrou-se eficaz na manutenção da tensão terminal de ~ 220 V_{rms} e frequência de rede ~ 60 Hz. Portanto, alcançando requisitos básicos para geração e distribuição de eletricidade no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: geração de energia, motor de combustão interna, gerador síncrono.

MODELING AND SIMULATION ABOUT A OTTO ENGINE GENERATOR SET

ABSTRACT: In rural areas, engine generator set are usually applied for emergency situations (interruptions in the integrated electricity supply) or electricity generation from biofuels (biogas, gasification or biodiesel). In this context, modeling and simulation can contribute to the specification design of the engine generator set, or then, it can be used to understanding some different operating conditions. Here, the objective was performing a simulation control of Otto engine generator, by means actuation in the engine throttle valve and generator field voltage. The internal combustion engine (15.8 kW) and synchronous machine (12.5 kVA generator) were represented in a Simulink model, that is linked to the Matlab (The Mathworks, Inc. Natick, MA). For simulation, a resistive and inductive loads were applied. Even after the load disturbances, the control proved to be effective, maintaining the terminal voltage at ~ 220 V_{rms}, and alternate frequency at ~ 60 Hz. Thereby, some basic requirements for electricity generation for common uses in Brazil.

KEYWORDS: power generation, internal combustion engine, synchronous generator.

INTRODUÇÃO: As principais aplicações de um motor gerador são o atendimento de situações de emergência e na geração distribuída. Em áreas rurais, o conjunto motor gerador pode ser aplicado na geração de eletricidade em pequena escala, utilizando gás de

gaseificação (CHAVES et al., 2016), biogás (SILVA et al., 2017), ou biodiesel (DA SILVA et al., 2013). O conjunto motogerador também é comumente aplicado no fornecimento emergencial de energia na zona rural, em casos de interrupção da eletricidade em aviários e suinoculturas, nos quais faz-se necessário o controle térmico do ambiente de produção. Em síntese, o sistema utiliza um gerador síncrono, com regime de operação com tensão de saída do gerador em ~ 220 V e frequência de ~ 60 Hz. Para tanto, a fonte de potência motriz é garantida pelo motor de combustão interna (MCI). Geralmente, geradores aplicados para baixa potência ($\sim 5,0$ a ~ 20 kVA) utilizam MCI ciclo Diesel ou Otto. Entre as vantagens dos MCI ciclo Otto está na possibilidade de utilizar combustíveis alternativos, como o biogás, produzido da biodigestão anaeróbica de resíduos coletados em instalações de produção animal (SALOMON & SILVA LORA, 2009). A especificação e análise de conjunto motogerador pode ser fundamentada em simulações das condições de operação. Neste contexto, o objetivo foi desenvolver um sistema de controle para garantir o regime de operação, após aplicação de distúrbios de carga em um conjunto motor gerador ciclo Otto, a partir de atuação na válvula borboleta e tensão de campo do gerador.

MATERIAL E MÉTODOS: No projeto de sistemas de controle, a modelagem, simulação e análise são fundamentais para estimar o comportamento da planta em funcionamento, contemplando diferentes cenários, como distúrbios de carga ou regimes de operação. No projeto de sistema de controle do motor gerador, a modelagem e simulação foram realizadas no Simulink, que é vinculado ao Matlab (The Mathworks, Inc. Natick, MA). No Simulink, a programação é realizada em diagrama de blocos customizáveis. Neste, as bibliotecas “Simscape” e “SimPowerSystems” foram utilizadas para a modelagem e simulação dinâmica. Em síntese, o sistema foi composto pelo motor de combustão interna (MCI) ciclo Otto, gerador síncrono e cargas (resistências elétricas e um motor de indução trifásico). A máquina síncrona (gerador de 12,5 kVA) foi acoplada ao motor de ciclo de Otto (15,8 kW) que funciona como força motriz primária, através do eixo do rotor.

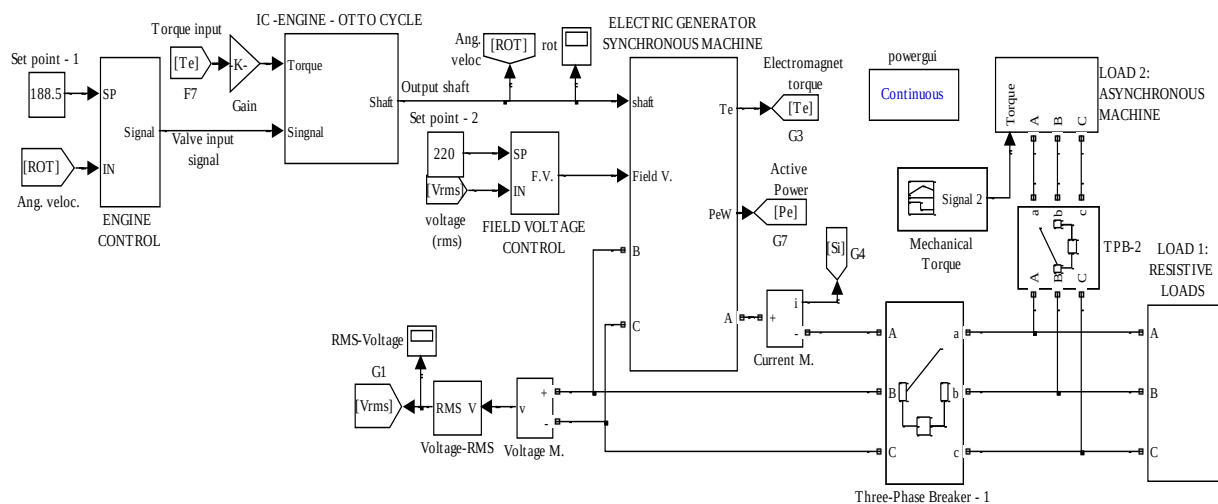


FIGURA 1. Diagrama de blocos em Simulink do conjunto motogerador.

Para atendimento das normas do sistema de distribuição de energia elétrica brasileira, o projeto do sistema de controle contemplou como requisitos: a tensão eficaz na saída do terminal do gerador síncrono em 220 Volts e frequência de 60 Hertz. Para o alcance da frequência do sinal alternado (~ 60 Hz), o acoplamento entre o motor e o gerador síncrono (quatro pólos) teve a velocidade angular controlada em ~ 1800 rpm. Tal atuação foi garantida por meio do controle da abertura da admissão de combustível, realizada pela válvula

borboleta. Entre o motor e o gerador, uma caixa de redução ($i=2:1$) foi utilizada para o aumento na disponibilidade de torque, e redução da velocidade angular nominal. Já o controle da tensão eficaz nos terminais de saída (~ 220 V) foi realizado de forma indireta, por meio de atuação na tensão de excitação de campo (V_f).

RESULTADO E DISCUSSÕES: A partir do controle em malha fechada foi possível simular o acoplamento de diferentes cargas ao sistema. Após o acionamento do conjunto motogerador, a estabilização (~ 220 V_{rms} e ~ 60 Hz) foi em torno de 18 s (Figura 2); neste instante, uma carga resistiva foi acionada (3000 W); já no instante de 40 s foi agregado ao sistema uma outra carga de resistências de 3000 W. E a partir de 50 s, um motor de indução foi conectado (potência de 6,0 hp, 220 V_{rms}, 60 Hz e 1725 rpm), contudo, operando durante um período em vazio para estabilização (20 s). Entre 70 a 100 s, um torque mecânico de 10 Nm foi acoplado ao motor; já durante intervalo de 100 a 130 s a carga mecânica foi aumentada para 18 Nm. Em um exemplo de aplicação agrícola, as cargas resistivas podem representar o aquecimento de um ambiente de instalação para a produção animal. Já o motor de indução trifásico pode ser aplicado em diferentes contextos, como no acionamento de máquinas agrícolas (produção de ração ou bombeamento de fluidos, *e.g.*). A Figura 2A também mostra o comportamento das componentes da potência aparente e reativa. A partir de 50 s do acionamento do motor de indução, um nível de potência reativa foi observado, a qual se manteve aproximadamente constante. Já no intervalo entre 70 a 130 s, verificou-se o aumento das potências aparente e ativa devido ao acoplamento da carga no motor de indução trifásico.

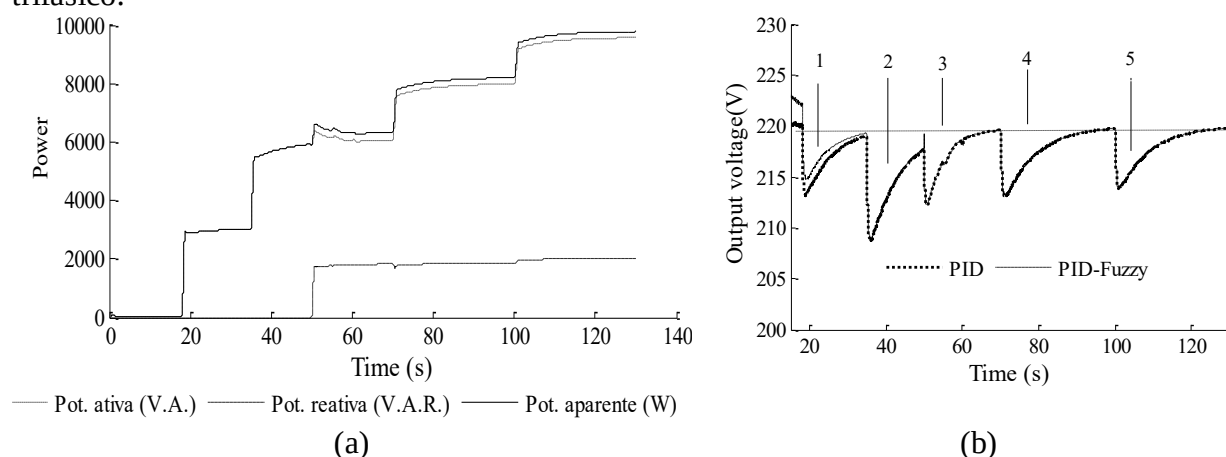


FIGURA 2. Aplicação de cargas externas no sistema. A. Potência elétrica gerada para a carga. B. Tensão eficaz de saída: 1 e 2 - Carga resistiva de 3000 W (18 e 35 s); 3 - Acionamento do motor elétrico (50 s); 4- Carregamento do motor com 10 Nm (70 s); 5- Carregamento do motor com 18 Nm (100 s).

A proposta do projeto foi o gerador suprir uma potência aparente de até 12,5 kVA, com tensão terminal de ~ 220 V_{rms} e frequência de rede ~ 60 Hz. De acordo com as especificações, a estabilização utilizando o controle PID foi menor que 2,5 s (Figura 3), quando comparado a estabilização utilizando o controle Fuzzy-PID. Contudo, durante a simulação das cargas no gerador, o comportamento da tensão eficaz de saída foi similar para ambas às estratégias de controle. No controle da tensão de saída, a situação mais crítica foi verificada no acionamento da segunda carga resistiva, quando a tensão de saída foi reduzida para aproximadamente 210 V_{rms} (Figura 2B). Em uma aplicação prática, na qual, o sistema de geração “exporta” energia elétrica para a rede de distribuição, a queda de tensão máxima deve ser no máximo de 7% (NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão). Desse modo, o sistema avaliado atendeu a especificação, uma vez que o limite da redução na tensão eficaz é ~ 205 V.

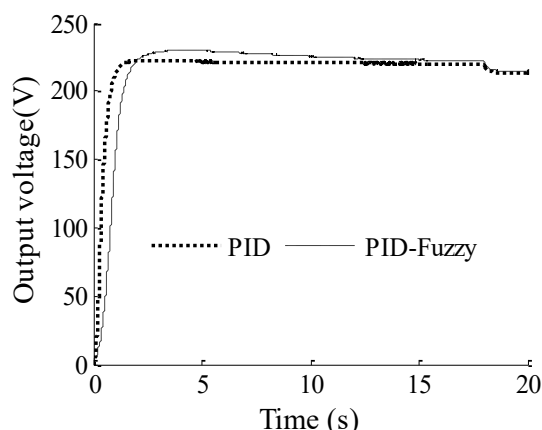


FIGURA 3. Tensão eficaz medida na saída do gerador.

Em geral, a modelagem e simulação contribuiu na compreensão sobre a influência das variáveis manipuladas (tensão de campo e nível de abertura da válvula borboleta) no conjunto. Em síntese, o processo de modelagem e simulação pode contribuir no alcance de parâmetros com proximidade das condições ideais à melhor performance dos sistemas de geração de eletricidade (FARIA et al., 2017).

CONCLUSÕES: A modelagem e simulação viabilizaram o desenvolvimento e a análise do sistema de controle do conjunto motor gerador ciclo Otto, a partir de atuação na válvula borboleta e tensão de campo do gerador; de forma geral a tensão de saída e a frequência foram mantidas próximas ao regime de operação (~ 220 Vrms e ~ 60 Hz), mesmo após aplicações de distúrbios de carga.

AGRADECIMENTOS: Ao curso de Especialização em Automação e Controle em Processos Agroindustriais, Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Turma de 2015.

REFERÊNCIAS: CHAVES, L. I.; DA SILVA, M. J.; DE SOUZA, S. N. M.. Small-scale power generation analysis: Downdraft gasifier coupled to engine generator set. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 491–498, 2016.

DE FARIA, M. M. N.; VARGAS MACHUCA BUENO, J. P.; AYAD, S. M. M. E.; BELCHIOR, C. R. P. Thermodynamic simulation model for predicting the performance of spark ignition engines using biogas as fuel. **Energy Conversion and Management**, v. 149, p. 1096–1108, 2017.

SALOMON, K. R.; SILVA LORA, E. E. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1101–1107, 2009.

SILVA, F. P.; DE SOUZA, S. N. M.; KITAMURA, D. S.; NOGUEIRA, C. E. C.; OTTO, R. B. Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. September 2017, p. 3900–3906, 2017.

DA SILVA, M. J.; MELEGARI DE SOUZA, S. N.; INÁCIO CHAVES, L.; et al. Comparative analysis of engine generator performance using diesel oil and biodiesels available in Paraná State, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 17, p. 278–282, 2013.