



PLATAFORMA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE FREQUÊNCIA EM UM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA APLICANDO O *DROOP SPEED CONTROL*

Jonatas R. Kinas – jonatas.kinas@ee.ufcg.edu.br

Rayan L. B. França – rayan.barreto@ee.ufcg.edu.br

Nelson C. de S. Campos – nelson.campos@ee.ufcg.edu.br

Nicolau K. L. Dantas – nicolau.dantas@ee.ufcg.edu.br

J. S. da Rocha Neto (*Senior member IEEE*) – zesergio@dee.ufcg.edu.br

Maurício B. de R. Correa (*Member IEEE*) – mbrcorrea@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário

58429-900 – Campina Grande – Paraíba

Resumo: *Com o crescimento dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, surgiu a necessidade da interligação dos sistemas de potência; e a conseqüente demanda pelo desenvolvimento de técnicas para o compartilhamento de cargas entre as diferentes unidades geradoras conectadas à rede. O Droop Speed Control surgiu com a promessa de a partir de uma relação direta entre frequência e potência de saída do gerador, efetuar um controle sobre o gerador síncrono, de modo que a frequência de operação do sistema fosse mantida dentro de valores pré-estabelecidos por norma, preservando assim, o seu sincronismo. Buscar um meio de implementar o Droop Speed Control de forma didática foi o objetivo traçado ao se desenvolver o projeto final da disciplina de Microcontroladores e Processadores Digitais de Sinais. Assim, a criação de uma plataforma que possibilitasse implementar o controle de frequência de forma lúdica e que enriquecesse o ensino da Engenharia, no âmbito da Universidade Federal de Campina Grande, permitiu conciliar de forma satisfatória o aperfeiçoamento técnico dos alunos e o desenvolvimento de novas ferramentas de ensino para a instituição. Os resultados finais foram quantificados pela aceitação do projeto pelas turmas que o estudaram, bem como pelo professor, que requisitou a inserção da plataforma como parte integrante do laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle.*

Palavras-chave: *Engenharia Elétrica, Droop Speed Control, Sistema Elétrico de Potência.*



1. INTRODUÇÃO

1.1. A disciplina de microcontroladores e processadores digitais de sinais

A disciplina Microcontroladores e Processadores Digitais de Sinais faz parte da área de Processamento da Informação e está inserida na estrutura curricular do curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica, nos níveis de Mestrado e de Doutorado, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A disciplina possui uma carga horária de 60 horas.

A metodologia de avaliação da disciplina consiste na realização de dois projetos pelo aluno. É exigido que o segundo projeto possua um maior detalhamento técnico, seja realizado por um grupo de até quatro alunos e esteja diretamente relacionado à Tese de Dissertação de algum dos alunos que compõem o grupo.

1.2. Motivação para realização do projeto

A ideia de utilizar a teoria do *Droop Speed Control* no projeto da disciplina de Microcontroladores e Processadores Digitais de Sinais surgiu da necessidade de plataformas práticas e didáticas para o ensino de engenharia para os alunos da graduação e da pós-graduação em Engenharia Elétrica na UFCG, tendo em vista que muitos dos conteúdos curriculares são expostos apenas de forma teórica em sala de aula, gerando uma lacuna do funcionamento prático na mente de alguns alunos.

Assim, o desenvolvimento de uma plataforma prática para a explicação do controle de frequência em geradores hidroelétricos se apresenta como uma ideia que pode contribuir de forma decisiva no processo de ensino da instituição.

2. O DROOP SPEED CONTROL

O *Droop Speed Control* é uma técnica que possibilita o compartilhamento de cargas entre diferentes unidades geradoras que compõem um sistema elétrico de potência, objetivando manter a frequência do sistema dentro dos limites estabelecidos previamente por norma (BOLLMAN, 2009). Para compreensão dessa técnica, é fundamental entender que a frequência em que opera um gerador síncrono está diretamente relacionada com a velocidade do seu rotor pela Equação (1),

$$F = \frac{P * N}{120} \quad (1)$$

onde F é a frequência de operação do sistema em Hz, P é a quantidade de polos do gerador síncrono e N é a velocidade do seu rotor, dada em rad/s.



Do ponto de vista do gerador síncrono, o restante do sistema se apresenta como um “barramento infinito”, ou seja, com frequência e tensão fixas. Assim, a velocidade de rotação do eixo do gerador também será fixada pelo sistema. Com essas considerações, é possível deduzir que quando uma nova carga é conectada à rede com uma consequente diminuição da velocidade de rotação do rotor, a frequência também será reduzida.

Assim, é necessário que o sistema de controle opere de modo a mitigar tal ocorrência. Desse modo, é dado um comando para que uma maior quantidade de fluido chegue ao rotor dos geradores que compõem o sistema, aumentando consequentemente a potência de saída nos terminais do gerador e trazendo a frequência de operação do sistema para os limites pré-estabelecidos.

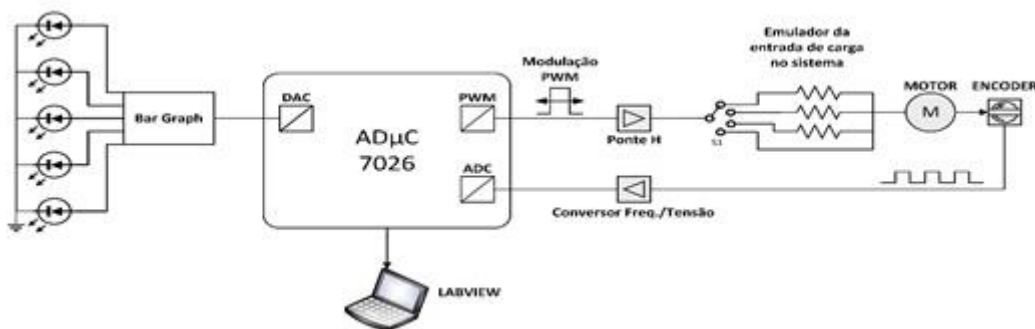
Portanto, o *Droop Speed Control* irá atuar monitorando a frequência de operação do sistema. Concomitantemente, a potência de saída fornecida nos terminais dos geradores síncronos também é monitorada. Assim, quando é verificado que o valor da frequência não se encontra nas zonas estabelecidas, essa técnica atua de forma a recuperar o equilíbrio do sistema.

3. O PROJETO

3.1. Desenvolvimento do *hardware*

Com o objetivo traçado de desenvolver uma plataforma didática que pudesse explicar de forma simples a aplicabilidade do *Droop Speed Control*, foi projetado um diagrama do circuito elétrico que iria compor o *Hardware* do sistema. O esquema desenvolvido está ilustrado na Figura 1.

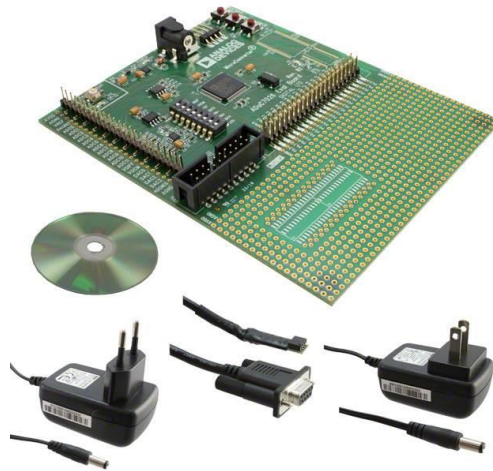
Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de simulação do Droop Speed Control



Para implementar o controle do sistema, escolheu-se a utilização de um kit de desenvolvimento da fabricante *Analog Devices*, apresentada na Figura 2, que possui como principal parte constitutiva, um microcontrolador ADuC7026.



Figura 2. Kit de desenvolvimento para ADuC7026.



Por se tratar de uma simulação didática de um sistema elétrico de potência, utilizou-se um motor de corrente contínua, modelo RM1-7900-00 cuja tensão nominal de operação é de 24 Vcc para representar as unidades geradoras que compõem o sistema. Este dispositivo possui um *encoder* incorporado ao seu eixo, conforme apresentado na Figura 3.

Como o *Droop Speed Control* utiliza como parâmetro de entrada a frequência do sistema, que é diretamente proporcional a velocidade do gerador, torna-se necessário a leitura da velocidade do motor utilizado na plataforma para monitoramento da frequência. Para a leitura da velocidade é utilizado o *encoder* que está acoplado ao eixo do motor e uma chave óptica modelo C860NP, assim é possível converter o movimento angular do motor em uma série de pulsos.

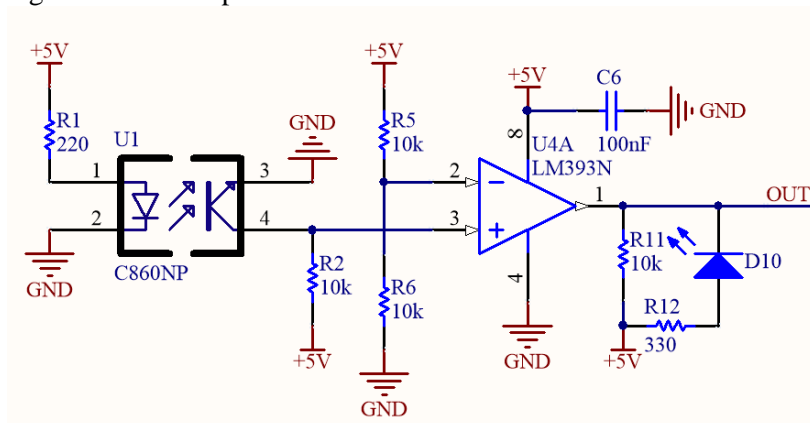
Figura 3. Motor CC modelo RM1-7900-000.



Buscando garantir os níveis lógicos desta série de pulsos, utiliza-se um comparador LM393 conforme ilustrado no circuito da Figura 4.



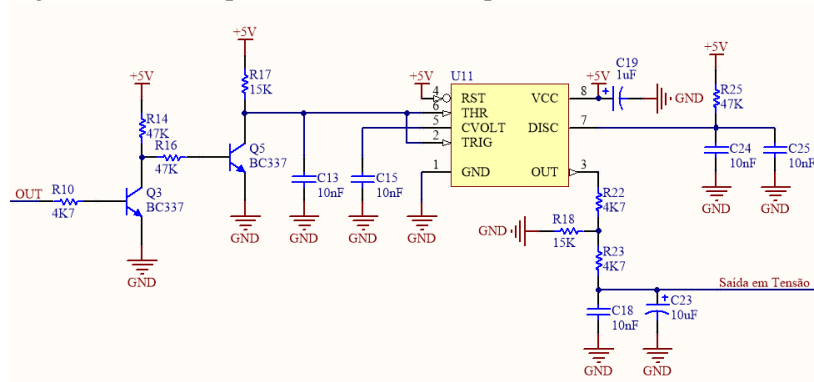
Figura 4. Circuito para leitura da velocidade do motor.



O sinal de saída deste circuito é uma onda quadrada que varia a frequência de acordo com a velocidade do sinal, ou seja, quanto maior for a velocidade do motor, maior é a frequência do sinal de saída.

Com o objetivo de facilitar a leitura da velocidade no microcontrolador foi utilizado um circuito para converter frequência em tensão, conforme apresentado na Figura 5, assim é possível fazer a leitura da velocidade do motor através do canal A/D do ADuC7026.

Figura 5. Circuito para conversão da frequência em tensão.



Para garantir que os sinais que são enviados ao microcontrolador não ultrapassem 3.3 Vcc que é o máximo suportado pelo mesmo, foram utilizados buffers que garantem que os sinais enviados ao ADuC7026 não ultrapassem este valor.

O motor da plataforma é acionado por um sinal PWM que é enviado pelo microcontrolador, este sinal é isolado por um opto-acoplador 6N137, conforme mostra o circuito da Figura 6.

No acionamento do motor CC foi utilizado um circuito meia ponte com dois circuitos integrados IRF540N que são chaveados por um IR2111. Para simular a entrada e saída de carga no sistema são utilizadas resistências e interruptores. Os circuitos para acionamento do motor e simulação das cargas estão mostrados na Figura 7.



Figura 6. Circuito que possibilita o isolamento do sinal PWM.

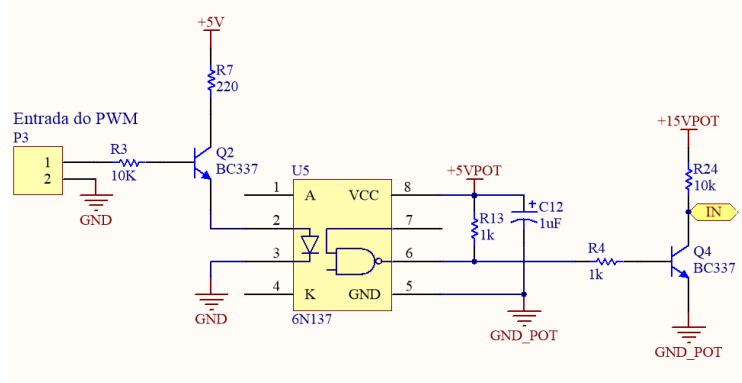
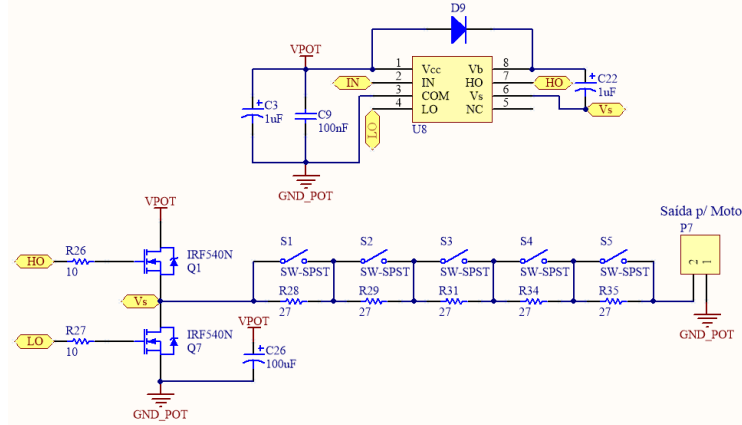
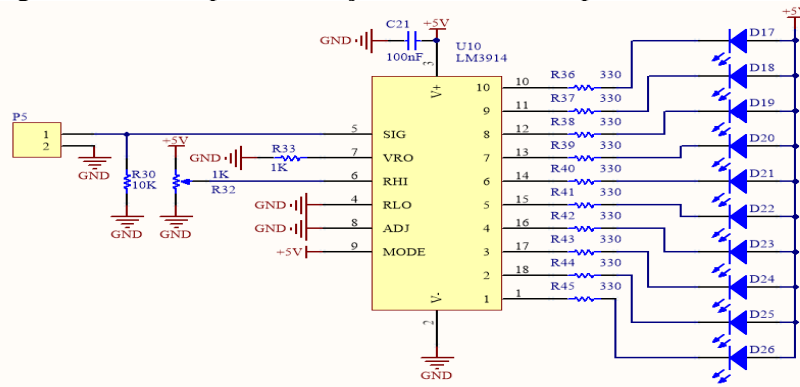


Figura 7. Circuito para acionamento do motor e simulação das cargas.



Por fim, para simular o nível de abertura da comporta e permitir uma maior compreensão do princípio de funcionamento do sistema por parte dos alunos, foi utilizado um circuito *Bar Graph*, com um circuito integrado LM3914, mostrado na Figura 8.

Figura 8. Circuito para simulação do nível da comporta utilizando um bar graph.

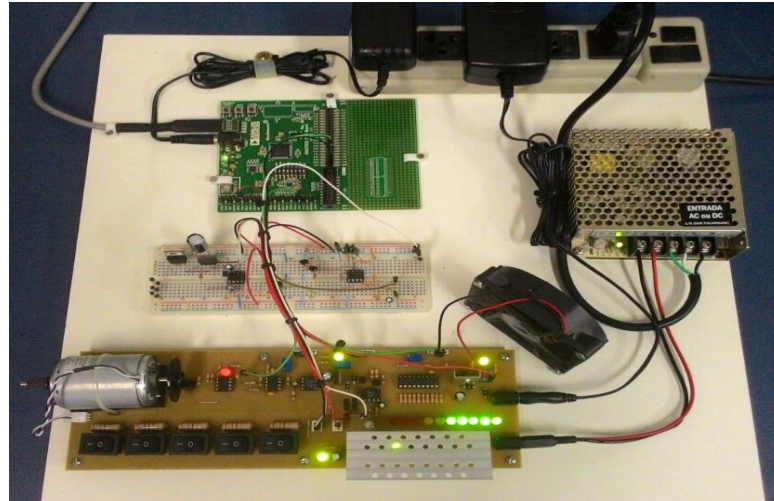


Assim, por meio da análise do acendimento dos *LED's*, é possível julgar se o seu equivalente no sistema real, nesse caso as comportas de uma usina hidroelétrica, estão parcialmente ou totalmente abertas. O resultado final do projeto está apresentado na Figura 9,



onde é possível visualizar tanto o kit ADUC7026, como os circuitos de potência e chaveamento, além das fontes de alimentação.

Figura 9. Plataforma experimental para simulação do *Droop Speed Control*.



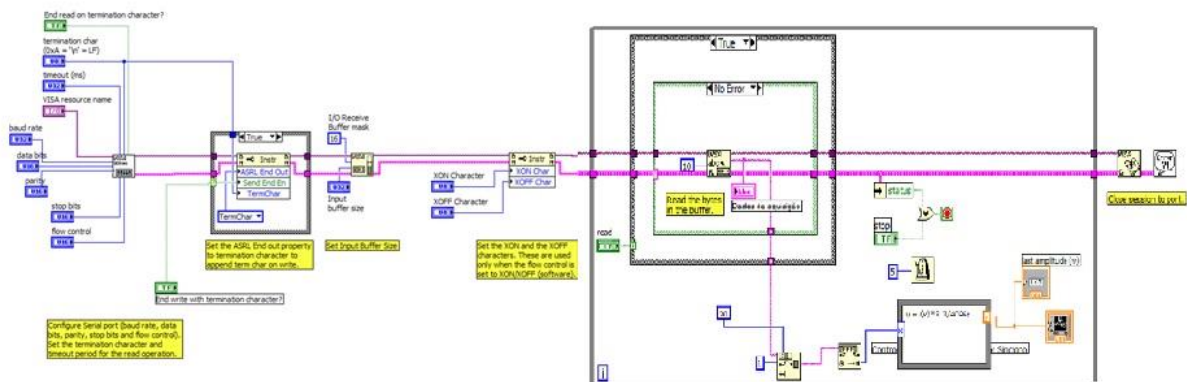
3.2. Instrumentação virtual utilizando o *LabView*

O *LabView* (abreviação de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) é uma plataforma de projeto de sistemas e ambiente de desenvolvimento de uma linguagem de programação visual da *National Instruments*.

A escolha pela utilização do *LabView* se deu pela necessidade do uso de um sistema que pudesse realizar a aquisição de dados da plataforma e em tempo real plotar as formas de onda dos parâmetros de interesse, facilitando assim, a utilização desse sistema para o ensino.

Na Figura 10, é apresentada a plataforma que foi elaborada no ambiente *LabView* com o intuito de realizar a aquisição dos dados da porta serial e plotar na tela do computador em tempo real.

Figura 10. Plataforma implementada no *LabView* para aquisição dos dados do sistema por meio da porta serial.





Programas e sub-rotinas em *LabView* são denominadas *Virtual Instruments (VI)* [INSTRUMENTS, N., 2006]. Cada *VI* corresponde a uma operação programática, como a configuração, leitura, escrita e gatilhamento de um instrumento. *Drivers* de Instrumentos no *LabView* simplificam tarefas de aquisição de dados e interface.

3.3. Programação no *Aduc*

O DAC do *ADuC 7026* envia sinais de tensão proporcionais à velocidade do motor para a porta serial (RS-232), conforme (ARAUJO et al., 2005). O código, que é escrito em uma derivação da linguagem C implementa o controle de velocidade do motor, que funciona em dois modos de operação:

- Malha aberta, onde a velocidade do motor varia com a inserção e/ou remoção de cargas;
- Malha fechada, onde a velocidade do motor é mantida constante independentemente da quantidade de cargas no sistema;

A escolha pela implementação desses dois modos de operação se deu pela necessidade de apresentar aos estudantes durante o processo de ensino as diferenças que ocorrem com o sistema atuando com controle e sem controle. No primeiro caso, em malha aberta, o sistema de potência iria tender a perda de sincronismo, como pode ser observado na Figura 11.

Já no segundo modo de operação, apresentado na Figura 12, sempre que ocorrer uma inserção ou retirada de carga no sistema, o bloco de controle irá atuar por meio do *Droop Speed Control* buscando manter o sincronismo do sistema.

Figura 11. Frequência do sistema em malha aberta.

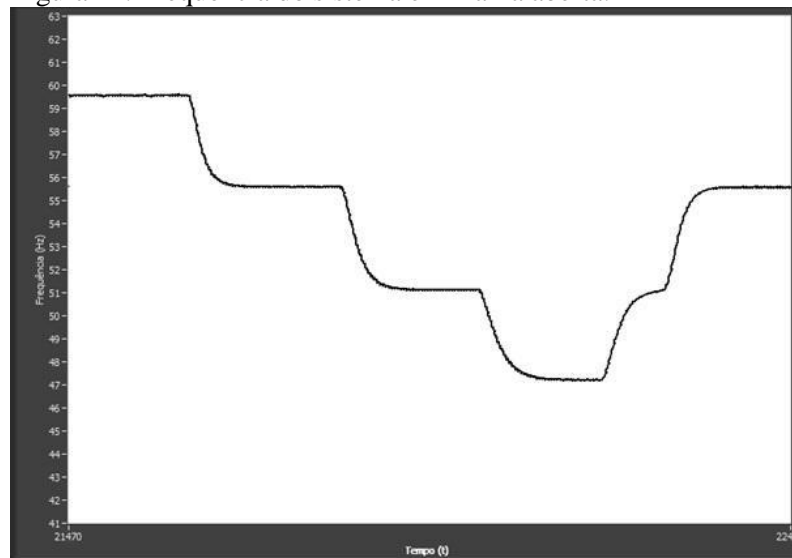
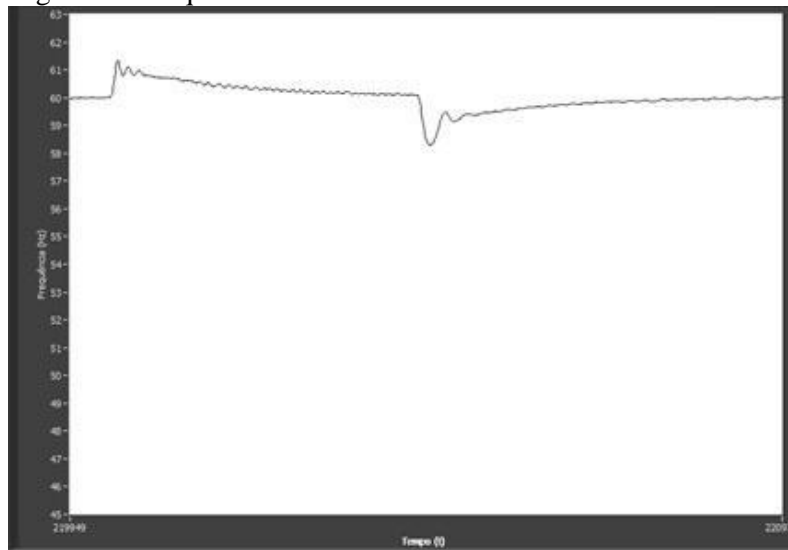




Figura 12. Frequência do sistema em malha fechada.



A seleção do modo de operação é ativada pelo sinal de um potenciômetro, que está presente no *ADuC 7026*. Com o driver *VISA*, foi possível adquirir os sinais que vinham da porta serial. Uma vez adquiridos, estes dados são tratados (ajustados a um nível de tensão de 3.3 V) e plotados graficamente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de desenvolvimento de uma plataforma didática para simulação do controle de frequência em um sistema elétrico de potência utilizando o *Droop Speed Control*, foi desenvolvido na disciplina de Microcontroladores e Processadores Digitais de Sinais e destinado a utilização no ensino de Engenharia no âmbito da UFCG. Os resultados obtidos foram satisfatórios devido à variedade de meios que possibilitam a visualização do seu funcionamento, possibilitando assim um agradável processo de ensino e aprendizagem. A aceitação por parte dos alunos das disciplinas de Instrumentação Eletrônica e Microcontroladores consolidou o sucesso irrefutável da plataforma.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos à Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande e a CAPES e o CNPQ pelo apoio na realização deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, T. V. G. P.; FILHO, C. A. S.; LIMA, A. M. N.; BARROS, P. R. *Kit de Desenvolvimento para Microcontroladores ADUC Aplicado ao Ensino de Controle e*



Automação. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 33. Campina Grande. Anais do Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, v. 1. p. 1-6.

BOLLMAN, A. M; UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA. *An Experimental Study of Frequency Droop Control in a Low-Inertia Microgrid.*, 2009. 54p . Tese (Mestrado).

FENG, D.; CHEN, Z.; **System control of power electronics interfaced distributed generation units.** in CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, vol. 1, pp. 1-6.

FITZGERALD, A. E; KINGSLEY C.; UMANS, Jr. S. D.; **Máquinas Elétricas**; tradução Anatólio Laschuk- 6. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2006.

INSTRUMENTS, N., 2006. **LabVIEW Tutorial Manual.** Disponível em: <http://www.physics.utoledo.edu/~alukasz/labview_tutorial.PDF>. Acesso em: 10 junho 2016.

INSTRUMENTS, N., 2003b. **LabVIEW: Getting Started with LabVIEW.** Disponível em: <http://www.sfu.ca/phys/231/063/data_sheets/LabView%20tutorial.pdf>. Acesso em: 10 junho.2016.

KUEHN, W.; **Control and stability of power inverters feeding renewable power to weak ac grids with no or low mechanical inertia.** in IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 2009, pp. 1-8.

DIDACTIC SYSTEM FOR FREQUENCY SIMULATION CONTROL IN A ELECTRIC POWER SYSTEM APPLYING DROOP SPEED CONTROL

Abstract: *With the growth of electric power generation and transmission systems, emerged the need for interconnection of power systems. Techniques for load sharing are being developed to supply the demand of different types of generating units connected to the network. The Droop Speed Control is a speed control that has a direct relationship between frequency and output power of the generator, making a control of the synchronous generator in such a way that the system operating frequency will be kept within pre-set values standard, thus preserving its timing. In this present work a didactic way to implement the Droop Speed Control was established as the goal to develop the final project of the Microcontrollers and Digital Signal Processors Master's course. The design flow of the project was accomplished with technical improvement of the students and the development of new tools education for the institution. The final results were quantified by the acceptance of the project by the groups that studied and the teacher who ordered the platform integration as part of the Electronic Instrumentation Laboratory and Control and the steps as the project was conducted serves as a playful example in the Embedded Systems lessons.*

Key-words: *Electrical Engineering, Droop Speed Control, Electric Power System.*