

Desenvolvimento de um hardware para o gerenciamento e controle de processos industriais

Francisco José Viglus (UTFPR) frviglus@hotmail.com
Claudinor Bitencourt Nascimento (UTFPR) claudinor@utfpr.edu.br
João Luiz Kovaleski (UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Resumo:

Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de um *hardware* para o gerenciamento e controle de processos industriais. O sistema eletrônico proposto pode ser utilizado como uma ferramenta importante em aplicações que usam dispositivos eletrônicos no processamento de energia elétrica, contribuindo como as políticas de gestão de energia discutida recentemente no país. Como é uma tecnologia de alto desempenho, quando combinada com a técnica de controle adequada, o *hardware* melhora a eficiência energética do sistema. Além disso, ele pode ser usado para obter dados em tempo real do consumo de energia, a fim de gerar relatórios e melhorar o planejamento estratégico em termos de gestão de energia. Tecnologias de dispositivos lógicos programáveis como FPGA e DSC são os principais componentes eletrônicos que compõem o sistema eletrônico.

Palavras chave: gestão energética, controle de processos industriais, FPGA, DSC.

Development of a hardware for management and control of industrial processes

Abstract

This paper presents the development of a hardware for management and control of industrial processes. The proposed electronic system can be used as an important tool in applications that use electronic devices for processing electrical energy, contributing for energy management policies discussed recently in the country. As being a high-performance technology, when combined with the proper control technique, the *hardware* improves the energy efficiency of the system. In addition, it can be used to obtain real-time data of energy consumption in order to generate reports and improve strategic planning in terms of energy management. Programmable logic devices technologies, as FPGA and DSC, are the main electronic components that make up the electronic system.

Keywords: Energy management, control of industrial processes, FPGA, DSC.

1. Introdução

Atualmente, em virtude do esgotamento dos recursos naturais, tornou-se evidente a necessidade da preservação da natureza, assim como, a melhoria da eficiência dos processos e equipamentos elétricos existentes.

O Brasil, de um modo geral, possui uma grande diversidade de recursos naturais. Entretanto, com o crescimento não linear das indústrias e da população, é fundamental que ocorra a melhoria dos processos e sistemas utilizados. Segundo (SOLA, 2004) as Indústrias brasileiras consomem quase metade da energia elétrica produzida no país, sendo que o restante fica distribuído nas residências, comércio, escolas, hospitais e demais órgãos públicos.

No entanto, o consumo de energia elétrica pode ser reduzido, ou ainda, a energia pode ser melhor aproveitada. Muitas empresas ainda utilizam tecnologias antigas em seus processos devido aos custos existentes para a reestruturação e inovação de máquinas e equipamentos. Apesar da existência deste custo, existem também muitos benefícios que quase sempre não são observados pelas organizações governamentais. Esses benefícios podem não ser imediatos, mas possivelmente contribuem ao longo do tempo, tanto ambientalmente como financeiramente para a sociedade.

Existem também outros fatores a serem levados em consideração como é o caso da produção da energia elétrica que possui um custo elevado. Entretanto, o consumo não é tão impactante por parte da empresa distribuidora, pois, quanto maior for o consumo maior será o lucro. A questão de maior importância é que na expansão de usinas hidroelétricas são grandes os impactos ambientais que poderiam ser minimizados.

A evolução dos dispositivos eletrônicos possibilitou uma imensurável contribuição no que tange a eficiência energética. Com as aplicações da eletrônica de potência, tornou-se possível a utilização das fontes energias renováveis, como é o caso da energia elétrica obtida por geradores eólicos (SANTOS, 2010).

Os processadores de sinais digitais (DSC) e os dispositivos de lógica reconfigurável (FPGA) são fundamentais neste contexto. Esses dispositivos microeletrônicos possibilitam o gerenciamento dos processos, de forma a prever possíveis situações indesejáveis, assim como, realizar complexas funções, pelas quais se obtém o melhor rendimento do processo.

O rendimento e a eficiência energética, muitas vezes, dependem do tempo necessário para mensurar uma variável do processo, identificar um possível desvio ou erro, e retornar uma resposta que atue no processo de modo a seguir um padrão previamente estabelecido. Ambos os dispositivos apresentados (DSC e FPGA), possuem essa função. Entretanto, existe a possibilidade de ocorrer diferenças significativas no tempo de processamento de dados entre tais dispositivos, podendo variar a eficiência do processo.

Ambas as tecnologias estudadas são destaque no desenvolvimento de sistemas, máquinas e equipamentos, onde a qualidade e a eficiência são fatores essenciais. A utilização de dispositivos programáveis tem contribuído cada vez mais para a evolução dos processos industriais. Através de programas específicos podem ser realizadas tarefas em tempo real, onde são gerados relatórios de análise do processo, ou ainda a obtenção de dados quantitativos que exprimem fatores importantes relativos ao consumo e o rendimento, ambos utilizados no planejamento estratégico da organização.

Em meio à evolução dos processos produtivos, se faz importante à minimização dos custos de uma forma geral. Os modernos dispositivos de processamento de sinais aumentam a confiabilidade dos sistemas, reduzem custos com manutenção, centralizam o gerenciamento de dados e podem substituir inúmeras máquinas manuais que operam em ambiente confinado.

O DSC processa os dados em uma forma sequencial, já o FPGA pode processar os dados de forma paralela (BERTO, 2003), realizando assim, várias funções ao mesmo tempo. Com base neste contexto, o presente artigo traz o desenvolvimento de um *hardware* que possibilitará a realização de um estudo de caso, tornando comparável o desempenho de ambas às tecnologias em relação ao processamento de sinais, assim como, a eficiência energética.

2. A eficiência energética e a eletrônica de potência

Os avanços decorrentes na eletrônica de potência têm trazido inúmeros benefícios no que tange a conversão e utilização da energia elétrica nos circuitos de potência, que são amplamente utilizados nas indústrias. Cada equipamento pode necessitar diferentes tipos de níveis de energia elétrica para funcionar. Para a obtenção desses níveis de energia, circuitos específicos foram desenvolvidos, cada qual com suas características próprias.

Os modernos circuitos conversores estáticos de energia elétrica possuem a função de adequar a energia elétrica ao processo. Estes conversores ainda conseguem minimizar as perdas oriundas da conversão. Para tanto, o controle dos conversores estáticos exige um alto grau de complexidade. Inúmeros são os cálculos e funções realizadas para que seja obtido um rendimento eficaz.

Em função da capacidade de processamento paralelo oferecido pelo FPGA, o tempo de processamento de algoritmos complexos cai drasticamente quando comparado com os demais dispositivos de processamento encontrados no mercado atual (BATISTA, 2009; BERTO, 2003).

Os dispositivos de processamento de sinais digitais utilizados no projeto proposto possuem ampla aplicação neste contexto. Tais dispositivos possibilitam a realização de complexas funções que seriam impraticáveis com a utilização de tecnologias tradicionais. Outro ponto relevante é o trabalho em conjunto destes dispositivos que acabam sendo complemento um ao outro (RAUTE, 2010).

3. Desenvolvimento do *Hardware*

O projeto do *hardware* teve início com estudos sobre as principais ferramentas de desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos, assim como, os estudos voltados aos componentes eletrônicos e circuitos que possivelmente fariam parte do projeto. Devido a grande complexidade do projeto, o desenvolvimento do *hardware* foi dividido em dois blocos, apresentados na figura 1.

No primeiro bloco têm-se os circuitos relativos ao FPGA. O FPGA escolhido foi o Cyclone III EP3C5E144C8N da Altera Corporation. Este bloco possui diversos periféricos onde cada um realiza uma ou mais funções. Basicamente, a função do FPGA será enviar ou receber dados digitais vindos de circuitos externos por meio do conector 1, ou ainda através da comunicação paralela realizada com o DSC através do barramento. Este bloco também possui alguns circuitos de interface onde o usuário poderá interagir com o sistema por meio de botões, ou ainda, os dados do processo poderão ser visualizados através do *display* LCD 1. Este *display* poderá mostrar dados quantitativos, obtidos nas aplicações, tornando o sistema eficaz no gerenciamento do processo.

O dispositivo FPGA também necessita de uma memória ROM na qual é armazenado seu programa. Quando o *hardware* é energizado, o FPGA carrega toda a programação armazenada na memória ROM. Após este processo o sistema entra em um regime permanente.

Para o armazenamento momentâneo de dados também foi incluído uma memória RAM estática (SRAM). Essa memória é responsável por manter armazenados os dados enquanto o circuito principal estiver energizado. Após o desligamento ou a queda de energia, os dados desta memória são excluídos automaticamente.

Na grande maioria das aplicações em gerenciamento de processos, o *hardware* será interligado com um computador. A conexão do *hardware* com *softwares* de supervisão de

processos será possivelmente feita utilizando um protocolo serial de comunicação, seja via Universal Serial Bus (USB) ou algum outro protocolo de comunicação.

O sistema de controle oferecido pelo *hardware* possibilita a transmissão de informações importantes sobre o processo. Estas informações quantificadas podem ser gerenciadas por um software de supervisão, apresentando aos gestores do processo relatório fundamentais na melhoria da qualidade e eficiência energética. Entre as principais informações pode-se destacar o tempo de utilização de máquinas e equipamentos, os momentos de mais alto consumo de energia no processo, além outras relações entre o fluxo de entrada de matéria prima e a quantidade de produto produzido.

O FPGA opera com uma frequência de trabalho de 50Mhz, obtida através de um oscilador à cristal ressonador. Esta frequência pode ser dividida ou multiplicada dentro do FPGA. Com a utilização de circuitos específicos baseados no travamento de fase (PLL), a frequência pode chegar aos 300Mhz.

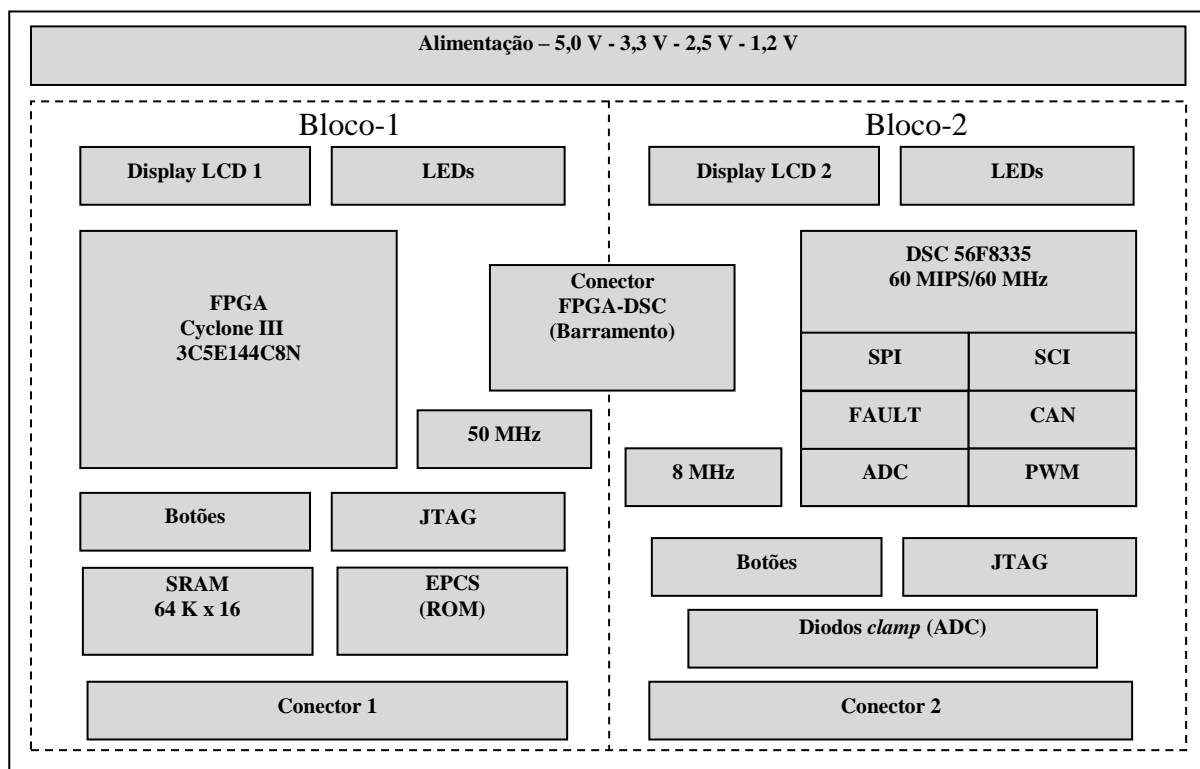


Figura 1 – Diagrama em blocos do *Hardware*

O segundo bloco é composto pelo processador de sinais digitais DSC e seus periféricos. Neste bloco foi utilizado um DSC da Freescale modelo 56f8335. Este dispositivo possui em sua arquitetura 16 canais de conversores analógicos-digitais e 12 canais de sinais de modulação por largura de pulso (PWM) configuráveis. Ambos periféricos são extremamente úteis ao escopo do projeto. Os canais de conversão analógicos-digitais são capazes de amostrar variáveis do processo. Este procedimento de amostragem é fundamental para a realização efetiva do controle.

Normalmente, em um processo, uma determinada grandeza precisa ser mensurada para que seja possível avaliar o estado do processo. Não é viável amostrar uma variável continuamente. Por isso, as amostras são obtidas em um determinado período de tempo. Essa etapa de amostragem é denominada conversão analógica-digital. O *hardware* desenvolvido é capaz de realizar até 8 amostragens com tempos em torno de 5 microssegundos. Para a grande maioria dos processos existentes esse tempo é relativamente pequeno, isso mostra que o projeto aqui

proposto se mostra como uma ferramenta de alto desempenho no que tange ao controle de processos.

Para aplicar uma resposta ao processo e minimizar os erros existentes, são utilizados os canais de modulação por largura de pulso (PWM). Estes periféricos são os responsáveis pela geração de sinais que se repetem ao longo do tempo em determinados períodos. A razão entre o tempo ativo e inativo destes periféricos modifica a potência média de um conversor através de um circuito eletrônico de potência que é agregado ao *hardware* apresentado.

O DSC 56f8335 opera com uma frequência interna de selecionável de até 60Mhz, obtida pela multiplicação de uma frequência de 8Mhz, através de um oscilador externo à cristal. Além disso, este dispositivo possui inúmeros periféricos auxiliares úteis na comunicação serial, tais como, comunicação serial síncrona SPI (*Serial Peripheral Interface*), comunicação serial assíncrona SCI (*Serial Communications Interface*) e CAN (*Controlled Area Network*), que normalmente são realizadas entre o *hardware* e outras interfaces existentes, ou ainda, programas de supervisão de processos.

O segundo bloco também possui um display LCD e um conjunto de botões que possivelmente o usuário poderá utilizar para interagir com o sistema.

Cada bloco pode ser utilizado de forma individual ou coletiva. As conexões entre os dispositivos podem ser reaproveitadas nos casos onde cada bloco atue individualmente. Estas conexões são dispostas em um conector localizado no centro do *hardware*.

4. Aspectos Construtivos

A placa de circuito impresso (PCB) desenvolvida para alocar todos os componentes utilizados no projeto é mostrada na figura 2. A placa possui dimensões aproximadas de 120x80mm e agrega 206 componentes. A grande maioria dos componentes é de montagem em superfície, o que proporciona um melhor aproveitamento da área útil, reduzindo ao máximo o tamanho do *hardware*.

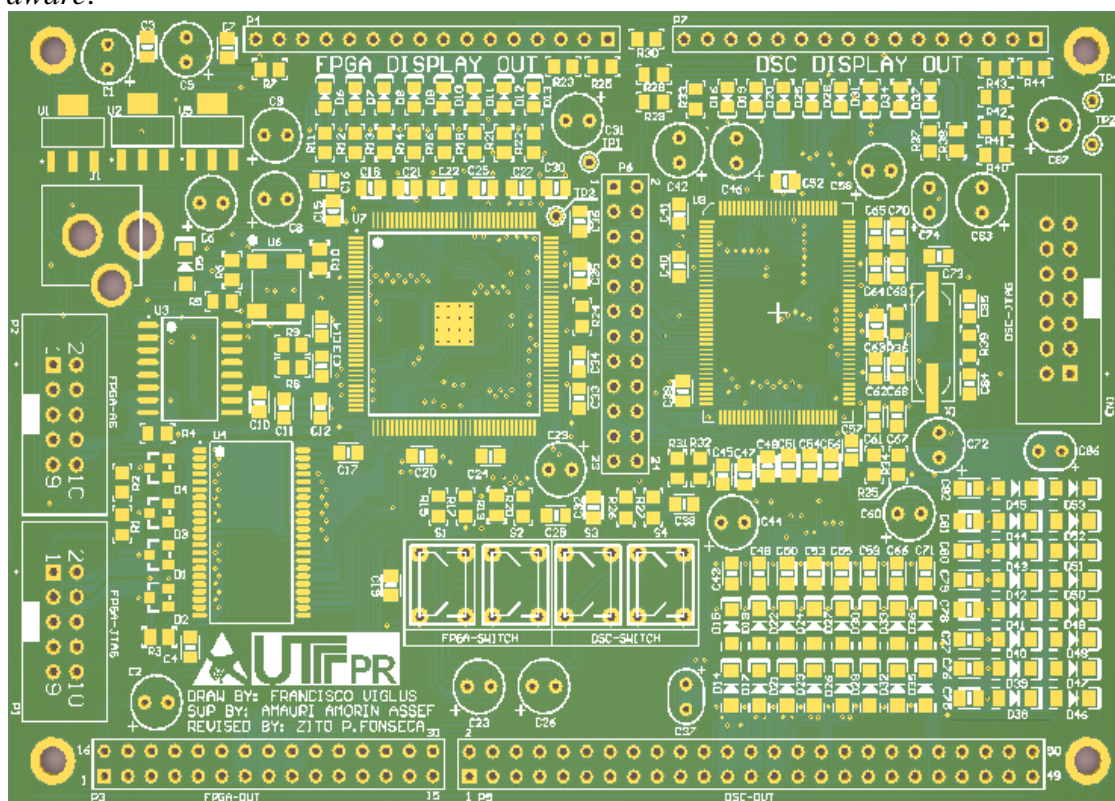


Figura 2 – Aspectos construtivos do *hardware* desenvolvido em computador

Após toda a estruturação do *hardware* em um computador, foram desenvolvidas as etapas de montagem prática. Inicialmente foram montadas 5 placas, as quais serão utilizadas nos estudos de iniciação científica, projetos de mestrado e demais trabalhos acadêmicos da UTFPR.

A confecção do *layout* da placa foi realizada por uma empresa especializada, restando aos desenvolvedores todo o processo de soldagem e testes finais. A soldagem dos componentes foi realizada dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-PG) pelos próprios integrantes da equipe desenvolvedora.

A montagem final do circuito pode ser vista na figura 3. É importante notar que este projeto visa apenas o desenvolvimento da etapa de processamento de sinais. Nas aplicações específicas serão ainda desenvolvidas outras interfaces, as quais, interligarão efetivamente o *hardware* desenvolvido à planta ou processo em questão.

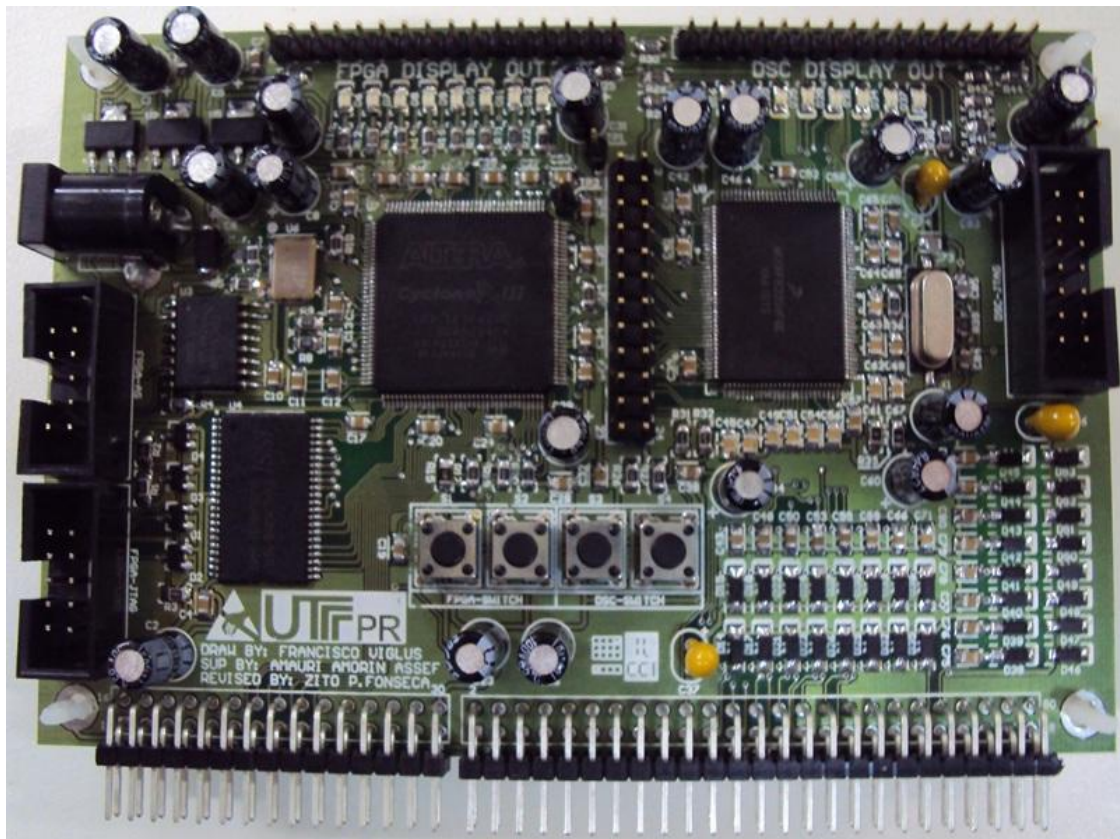


Figura 3 – Aspectos finais da montagem do *hardware*

Todo o circuito de controle é alimentado por uma fonte de alimentação externa de 5V. Ambos os displays são conectados na parte superior da placa nos conectores apropriados. Na parte inferior da placa estão dispostos os conectores que interligarão a placa de controle ao restante do processo.

5. Programação dos dispositivos

A programação dos dispositivos é feita através de gravadores específicos oferecidos pelos fabricantes. Os programas são desenvolvidos utilizando-se ferramentas computacionais, nas quais são definidos todos os parâmetros e configurações relativas à aplicação.

Para o FPGA o *software* de desenvolvimento utilizado é o Quatus II da Altera. Tal ferramenta propicia a programação em linguagens de descrição de *hardware* (HDL e VHDL). Diversas

são as configurações e combinações de estruturas de *hardware* possíveis com o uso deste *software* e suas ferramentas agregadas. Uma das principais particularidades dos dispositivos FPGAs é a emulação de microprocessadores.

Para a programação do DSC a ferramenta computacional utilizada na programação é o *Code Warrior*, edição especial para a série 56800/E (DSC), versão 8.3. Esta ferramenta oferece uma arquitetura de programação otimizada para linguagem C, além de um modo interativo de programação visual avançado, que facilita o desenvolvimento rápido de programas e a configuração dos periféricos.

No gerenciamento de processos os programas desenvolvidos para os dispositivos do *hardware* podem ser otimizados para trabalhar em conjunto com *Softwares* de supervisão de processos, operando juntamente com programas ERP.

6. Exemplos Práticos de Aplicações do *hardware* desenvolvido

Nas diversas áreas das engenharias, quando se necessita realizar o controle de um processo, normalmente é necessária à utilização de circuitos eletrônicos para monitorar e atuar no sistema. Entretanto, dentre as aplicações que exigem alto desempenho, seja no tempo de resposta ou na realiação de cálculos, pode-se destacar o reconhecimento inteligente de imagens e objetos, manipulação robótica e controle de velocidade e troque de máquinas elétricas (MACBEDER, 2003).

Por exemplo, no reconhecimento inteligente de imagens e objetos é possível detectar defeitos em sistemas mecânicos, onde a comparação entre a imagem real do processo e uma imagem anteriormente amostrada fornecem dados utilizados na avaliação do processo e produtos. A precisão proporcionada por sistemas digitais tornam esses sistemas relevantes em comparação às atividades manuais, em que a qualidade muitas vezes é comprometida pela técnica da pessoa, ou ainda pelo seu estado emocional.

No caso de aplicações que buscam a eficiência energética dos conversores estáticos, segundo (SUGARA, 2009) estas aplicações sofrem drásticas melhorias de desempenho que refletem na qualidade e eficiência geral do processo. Na figura 4 é apresentada uma aplicação do *hardware* em um processo industrial.

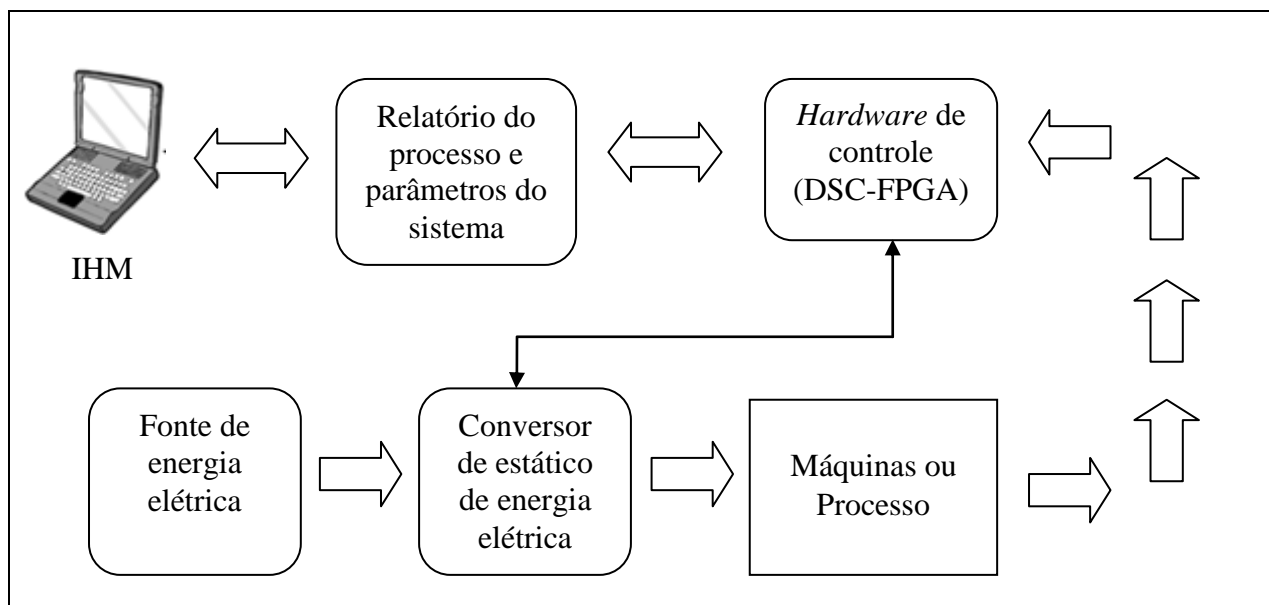


Figura 4 – Exemplo de aplicação em um processo industrial

Nesta aplicação, o *hardware* desenvolvido recebe parâmetros de configurações do processo realizadas pelo gerente do processo por meio da interface homem máquina (IHM), que normalmente é composta por um computador e um software de supervisão SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Os parâmetros são enviados para o *hardware* de controle desenvolvido através de uma comunicação serial. Neste momento são realizados cálculos através de algoritmos específicos que normalmente não seriam realizados por outros dispositivos de controle. Após processados os parâmetros, são repassadas informações e sinais de controle tanto ao processo quanto ao conversor de energia, mantendo o sistema dentro dos parâmetros estabelecidos.

A grande maioria dos processos é composta por motores elétricos que transformam a energia elétrica em energia mecânica. Com a utilização de técnicas avançadas de controle utilizando modulação vetorial, é possível obter o máximo rendimento deste processo. Constantemente são gerados relatórios sobre o estado atual, assim como gráficos de consumo de energia e demais variáveis que servem como referência para a otimização do sistema.

No gerenciamento de energia elétrica, uma aplicação interessante é apresentada por (SOUZA, 2008), onde os circuitos de lógica reconfigurável são utilizados no monitoramento e identificação de falhas em subestações de energia elétrica. Os dados oriundos do processo são transmitidos a um computador onde um sistema SCADA processa esses dados apresentando valores quantitativos ao gestor do processo.

No setor de manipulação genética e sistemas críticos, aplicações de robôs e manipuladores também podem ser desenvolvidas com a utilização de DSC's e FPGA's. Nesse sentido, aplicações como a de (TEOH, 1992) também se mostram interessantes.

Conclusão

Neste artigo foi apresentado o desenvolvimento de um *hardware* de controle que pode ser amplamente aplicado em controle de circuitos de potência, visando à melhoria da eficiência energética.

O projeto desenvolvido possui como principais características a ampla capacidade de realização de cálculos e funções complexas, e o baixo tempo necessário para retornar uma resposta de controle ao processo.

A geração de relatórios do processo pode contribuir com o planejamento estratégico da organização. O Brasil está em um processo de desenvolvimento contínuo em relação aos processos industriais. É evidente que a implementação de circuitos de alta tecnologia como os propostos neste trabalho são importantes, essencialmente quando se trata da redução de gastos com a energia elétrica e a sua eficiência.

Como relatado no texto, o trabalho inicialmente destina-se aos estudos e pesquisas dentro da UTFPR, não tendo inicialmente um propósito financeiro.

Como principais características, apresentam-se o *hardware* como sendo uma ferramenta compacta que se destaca pela alta velocidade na aquisição de dados, geração precisa de sinais, e a reconfiguração rápida na estrutura de *hardware* juntamente com processamento paralelo oferecido pelo FPGA.

Espera-se que esta ferramenta possa ser aplicada, não somente nos propósitos aqui explanados, mas que seja amplamente utilizada nas mais diversificadas áreas dentro das engenharias, principalmente em estudos científicos que justifiquem a aplicação dessas tecnologias de ponta.

Referências

- RAUTE, R.; CARUANA, C.; STAINES, C. S.; CILIA, J.; SUMNER, M.**, *Design of a Periphery Control FPGA Board for Electric Drive Systems*, MELECON 2010 - 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference.
- SOLA, A.V.H. & KOVALESKI, J.L.** *Eficiência energética nas indústrias: cenários & oportunidades*. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Florianópolis, p.3326-3333, 2004.
- SANTOS, B.S.; COSTA, E.M.; ALMEIDA, F.C.; GRANZA, M.H.; VOLTOLINI, H.** *Energia Eólica: Uma Visão de Energia Sustentável*, 7º Encontro Paranaense de Empreendedorismo e Gestão Empresarial (EPEGE), Ponta Grossa, 2010.
- BATISTA, F. A. B.; PETRY, C. A.; SANTOS, E. L. F.; ALMEIDA, B. R.** *Didactic system for digital control of power electronics applications*, Congresso brasileiro de eletrônica de potência (COBEP), p. 1093-1098, 2009.
- BERTO, S.; PACCEGNELLA, A.; CESCIA, M.; BOLOGNANI, S.; ZIGLIOTTO, M.** *Potentials and Pitfalls of FPGA Application in Inverter Drives – a Case Study*, in Proc. of IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT, vol. 1, p. 500-505, 2003.
- SUGARA, K.; OIDA, S.; YOKOYHAMA, T.** *High performance FPGA controller for digital control of power electronics applications*, in Proc. of Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC '09. IEEE 6th International, pp. 1425-1429, 2009.
- MCBADER, S.; LEE, P.** *An FPGA Implementation of a Flexible, Parallel Image Processing Architecture Suitable for Embedded Vision Systems*. in Proc. of IEEE Parallel and Distributed Processing Symposium, 2003.
- SOUZA, F.A.; OKI, N.; MANTOVANI, S.C.A.** *Aplicando FPGA em Diagnóstico de Falhas em Subestações de Distribuição de Energia Elétrica*, 7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, UNESP, Presidente prudente, 2008.
- TEOH, E. K., CHOW, P. K., CHUA, C. S.**, *DSP-based Adaptive Controllers for On-line Control of Robotic Manipulator*, Intelligent Control and Instrumentation, 1992. SICICI '92. Proceedings., Singapore International Conference on.
- FREESCALE Semiconductor**, *MC56F8335 Rev. 5 - 56F8300 16-bit Digital Signal Controller*, 56F8335/56F8135 Data Sheet, 2007.
- Freescale Semiconductor**, *CodeWarrior Development Studio for Freescale 56800/E Digital Signal Controllers V8.3*, Fact Sheet, 2009.
- ALTERA Corporation**, *Cyclone III Device Family Overview*, Cyclone III Device Handbook, vol. 1, 2009.