



Sistema Digital Embarcado para Automatização de Robô de Solda Linear

LUCAS CAETANO MEIRELES PEREIRA¹; CRISTIANO RAFAEL STEFFENS²;
RÔMULO THIAGO SILVA DA ROSA²; PAULO JEFFERSON DIAS DE OLIVEIRA
EVALD²; JUSOAN LANG MÓR²; NELSON LOPES DUARTE FILHO³

¹Universidade Federal do Rio Grande – FURG – caetano02117@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande – FURG – Cristianosteffens@furg.br, (romulothiago,
paulo.evald,jusoan66@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande – FURG – nelson.duarte@furg.br

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem à arco protegido é parte essencial do contexto industrial para a produção de peças e manufatura de produtos, estando presente em diversos setores da indústria moderna. Em função disso, a automação da soldagem é um fator determinante para que altos níveis de reprodutibilidade e produtividade, mantendo a qualidade dentro dos padrões determinados, sejam alcançados. Além disso, automatizar esse processo permite afastar o operador do processo, que é nocivo à saúde, pois gera fumos, radiação ultravioleta e calor intenso (HARRIS, 2002). Assim, além de aumentar a taxa de produção e qualidade da solda, também garante maiores níveis de segurança no trabalho.

Uma aplicação específica da soldagem à arco protegido na indústria a qual possui altos índices de demanda nos setores naval e portuário é a soldagem linear de grandes placas de aço. Essas placas são utilizadas para a construção de navios, plataformas extratoras de petróleo e sistemas de tubulação de gás.

Em processos de menor escala cujo espaço de trabalho para soldagem é reduzido, a soldagem já é realizada por sistemas robóticos, como manipuladores, há um bom tempo. Entretanto, no contexto naval, onde são requeridas grandes placas de aço, o uso de robôs manipuladores torna-se inviável, pois em determinados casos é necessário executar cordões de solda de mais de 20 metros de comprimento. Assim, uma alternativa é a utilização de robôs de soldagem linear com dois graus de liberdade, projetados para executar extensos cordões de solda linear. Esses robôs se movem sobre trilhos por um mecanismo de pinhão e cremalheira e possuem um braço tecedor com um grau de liberdade, que move a tocha de soldagem para realizar a costura desejada. Porém, para operação desses robôs é necessário que um operador fique próximo ao local de operação para interferir no processo em tempo real, o que o expõe aos riscos citados.

Portanto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma digital embarcada para substituir o painel de acionamento analógico original de um robô de solda linear produzido pela BUG-O MDS System (BUG-O, 2017). A arquitetura desenvolvida permite a atualização dos parâmetros operacionais à distância, através de um sistema de troca de mensagens com um computador remoto. Para garantir que o processo irá ser executado com cálculos de alta precisão, cuja arquitetura foi feita conforme o padrão IEEE-754 (ZURAS et al., 2008). Além disso, foi realizada a implementação de uma unidade aritmética em ponto flutuante seguindo a arquitetura descrita em HÜTTNER (2017).



2. METODOLOGIA

A arquitetura embarcada proposta foi construída utilizando lógica programável através da linguagem VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*), que é uma linguagem de descrição de hardware VHSIC (*Very High Speed Integrated Circuits*), para fazer uso da grande capacidade de paralelismo, customização e otimização que os dispositivos dessa natureza oferecem. A arquitetura foi implementada e sintetizada com a ferramenta *Quartus* da *Altera*. Já a simulação do sistema foi realizada na ferramenta *Altera ModelSim*, própria para simulação lógica desses tipo de linguagem. Após ser testado e validado, o sistema foi embarcado em uma placa de prototipação *Terasic* DE0-NANO, equipada com um dispositivo FPGA (*Field Programmable Gate Array*) *Cyclone IV*, que executa à uma frequência de 50 MHz.

Para o condicionamento dos sinais a serem trocados entre o dispositivo FPGA, contendo a arquitetura, e o sistema analógico do robô é necessário uma interface. Para tal, foram desenvolvidas um conjunto de placas eletrônicas que atuam como uma interface analógico/digital, tratamento de sinais e adequação de potência, conforme descrito em HÜTTNER et al (2016).

Para o sistema de troca de mensagens entre o módulo e um computador remoto, foi utilizado um módulo de comunicação *Modbus*, conforme o padrão do protocolo descrito em SWALES (1999). *Modbus* é um padrão de comunicação aberto, amplamente utilizado na indústria, que opera no modo mestre-escravo. Nesse padrão, a estrutura da mensagem é independente da camada física sobre a qual os dados trafegam, sendo então um protocolo ideal para o tipo de aplicação em que o sistema digital embarcado desenvolvido se enquadra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A arquitetura final, como descrito no relatório de compilação, mostrado na Tabela 1, ocupa 36% dos elementos lógicos disponíveis no dispositivo *Cyclone IV* e 17% dos multiplicadores de 9 bits embarcados.

Tabela 1: Relatório de compilação gerado pelo Quartus para o *Cyclone IV*

Flow Summary	
Flow Status	Successful - Tue Oct 03 12:36:10 2017
Quartus Prime Version	15.1.0 Build 185 10/21/2015 SJ Lite Edition
Revision Name	DE2_115_CAMERA
Top-level Entity Name	BUGO
Family	Cyclone IV E
Device	EP4CE22F17C6
Timing Models	Final
Total logic elements	8,084 / 22,320 (36 %)
Total combinational functions	7,867 / 22,320 (35 %)
Dedicated logic registers	2,704 / 22,320 (12 %)
Total registers	2704
Total pins	116 / 154 (75 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	0 / 608,256 (0 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	22 / 132 (17 %)
Total PLLs	1 / 4 (25 %)
Total PLLs	1 / 4 (25 %)



O sistema desenvolvido substitui integralmente o painel do robô, podendo ser controlado a partir de referências de posição do robô, velocidade do robô ou reproduzindo os padrões de costura que o sistema original realiza. Ao ser controlado por meio de referência de posição o sistema atinge uma precisão de 0,125 mm ao se movimentar na cremalheira ao longo trilho de operação. Para garantir que o sistema opere com a velocidade passada como referência um controlador proporcional integral (PI) foi implementado na malha de atuação do motor que move o motor pelo trilho. O projeto de controlador foi feito utilizando os ganhos especificados em EVALD et al. (2017).

Rotinas de testes em contexto similar ao industrial demonstraram que o sistema é resiliente a mudanças de parâmetros em tempo real e variações nas condições de operação. O sistema é capaz de alternar entre modos operacionais em 3 ciclos de *clock* no pior caso. Mudanças repentinas no cenário onde o sistema deve operar são identificadas e causam o travamento do sistema em 2 ciclos de *clock*. Essas rotinas também demonstraram que o sistema de comunicação do sistema com o computador remoto é robusto para ser utilizado em ambiente industrial.

A arquitetura embarcada é capaz de reproduzir os padrões de costuras que o painel de acionamento realiza, mostrado na Figura 1, sem deixar de oferecer a precisão e robustez que os outros modos operacionais apresentam. Um teste com uma caneta substituindo a tocha de solda para melhor visualização é apresentado na Figura 2. O sistema foi capaz de traçar os padrões de costura com máxima precisão. Sem variar a amplitude nas costuras onde a tocha se move ortogonalmente ao trilho por meio do braço do robô. Também é possível visualizar que o sistema não apresenta variações notáveis de velocidade ao alternar o sentido do movimento.

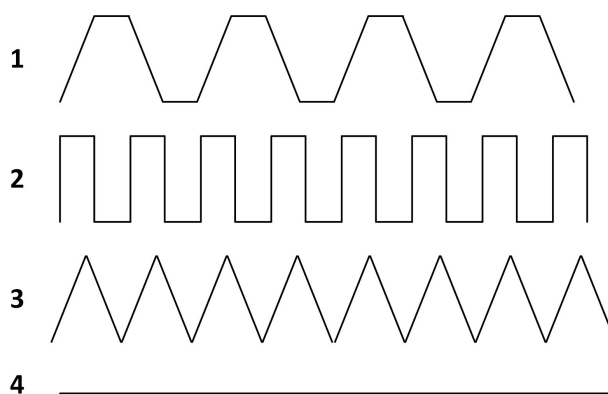


Figura 1: Padrões de costura: 1 Losango, 2 Quadrado, 3 Triangular e 4 Linear.



Figura 2: Resultados dos padrões de costura.



4. CONCLUSÕES

Os resultados dos testes envolvendo o sistema desenvolvido em diversos cenários revelam que o sistema é robusto o suficiente para operar em um ambiente industrial. O sistema de comunicação não apresentou perda de informação ao longo de horas funcionamento. Nesse sentido o sistema teve sucesso em afastar o operador da zona insalubre que a soldagem gera, aumentando a segurança do processo de solda. A malha de controle aplicada ao motor é robusta e permitiu que o robô se movimente conforme a referência de velocidade sem apresentar oscilações.

Além disso, a lógica interna que executa os padrões de costura reproduziu as costuras do cordão de solda fielmente e com alta precisão. Isso permite que se obtenha elevadas taxas de produtividade sem que haja perda de qualidade no processo, por irregularidades no formato do cordão de solda.

Em trabalhos futuros, um módulo de processamento de imagem será implementado em VHDL e adicionado ao sistema. Dessa forma o sistema será alimentado com mais informações do ambiente de solda, permitindo uma análise mais detalhada do cordão formado e das dinâmicas de transferência metálica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUG-O SYSTEMS SYSTEMS CORPORATION. **Instructions and parts manual: modular drive system**. Acessado . em 05 out. 2017. Online. Disponível em: <https://www.bugo.com/catalog?format=raw&task=download&fid=250>

EVALD, Paulo Jefferson Dias de Oliveira et al. Performance comparison of control strategies applied on welding robot plant. In: Industrial Electronics (ISIE), 2017 **IEEE 26th International Symposium on**. IEEE, 2017. p. 539-544.

HARRIS, Michael K. **Welding health and safety: a field guide for OEHS professionals**. AIHA, 2002.

HÜTTNER, Valquiria, et al. Welding Turns Digital: Electronics and FPGA-based Design to Actuate a Linear Welding Work Cell. **Revista Jr. de Iniciação Científica em Ciências Exatas e Engenharias**, 14 (1), 35-43. 2016.

HÜTTNER, Valquiria, et al. Design and Implementation of a Floating Point Unit for Real-time Control Applications. **32nd South Symposium on Microelectronics (SBMicro)**, 81-84. 2017.

SWALES, Andy et al. **Open modbus/tcp specification**. Schneider Electric, v. 29, 1999.

ZURAS, Dan et al. **IEEE standard for floating-point arithmetic**. IEEE Std 754-2008, p. 1-70, 2008.