



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

SISTEMA DE SEGURANÇA PARA IRRADIADORES GAMA CATEGORIA IV USANDO LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO GRÁFICA

Samuel Justino da Silva, ssilva28@its.jnj.com
Roberson José da Silva, robersons@ig.com.br
Hildebrando Aparecido de Castro, hildebrando.castro@hotmail.com
Cristiane Martins, cmartins@ita.br

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-900 – São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo: Os Irradiadores Gama categoria IV são máquinas industriais aplicadas no processamento por radiação (esterilização, descontaminação, polimerização e modificação) de diversos produtos. Nestas máquinas são instaladas grandes quantidades de material radioativo, geralmente fontes de cobalto-60, portanto são capazes de fornecer doses em altas taxas, as quais seriam letais para os seres humanos se expostos a fonte radioativa. Para garantir a proteção ocupacional e ambiental, o sistema de segurança deve empregar o conceito conhecido por Defesa em Profundidade, ou seja, deve ser provido de barreiras múltiplas para que a falha em um nível seja compensada por outro, de modo a não comprometer a integridade do sistema total. Tal sistema de segurança é composto de diferentes dispositivos, sensores e atuadores digitais e analógicos, além de um controlador central que deve possuir um alto grau de confiabilidade. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de segurança empregando linguagem gráfica de programação (*LabVIEW*), mostra a montagem de um circuito de testes capaz de simular os sensores utilizados no sistema de segurança de Irradiadores, discute os resultados dos testes funcionais do sistema desenvolvido em relação aos requisitos das normas específicas e, argumenta sobre as vantagens do uso deste tipo de linguagem na construção de sistemas de segurança baseados em PC, atendendo às normas da IAEA e garantindo a proteção de pessoas e meio ambiente contra a ação da radiação ionizante.

Palavras-chave: *Irradiadores gama, sistema de segurança, programação gráfica*

1. INTRODUÇÃO

Irradiadores Gama são máquinas usadas na indústria de processamento por radiação cuja aplicação inclui a esterilização de dispositivos médicos e farmacêuticos, descontaminação de alimentos e modificação de materiais, como por exemplo, polímeros, borrachas, pedras preciosas e outros, sendo um dos maiores usos da energia nuclear pela indústria (McLaughlin, 1989). Estima-se que mais de 200 Irradiadores de grande porte como o mostrado na Fig. (1) estejam em operação no mundo (Drndarevic, 2008), dos quais 5 estão no Brasil.

Estas máquinas utilizam grande quantidade de material radioativo, da ordem de milhões de Curies devido à necessidade de altas doses serem aplicadas aos produtos processados, portanto são capazes de fornecer doses letais para humanos em poucos minutos (Rodrigues Jr., 2005). A proteção de pessoas e meio ambiente é realizada por uma blindagem de concreto (de aproximadamente 2 metros) quando a fonte está em operação, ou por uma piscina de armazenamento com uma coluna de água de aproximadamente 6 metros quando a fonte não é usada para processamento, sempre com o objetivo de garantir um nível de exposição externo em conformidade com os requisitos definidos pela agência regulatória de cada país, no caso do Brasil a CNEN – Comissão Nacional de Energia de Nuclear.

Além das blindagens existe um sofisticado sistema de segurança composto por controlador central e dispositivos de campo tais como chaves, monitores de radiação, sensores de gases e detectores, empregados para segurança da planta e controle de acesso à célula de irradiação. O sistema de segurança é projetado de acordo com o conceito de Defesa em Profundidade (faz uso de redundância, diversidade e independência), ou seja, deve ser provido de barreiras múltiplas de modo que a falha em um nível possa ser tolerada sem perda da função total.

Este artigo apresenta um sistema de segurança baseado em PC, usando linguagem *LabVIEW*, que por suas características apresenta todos os requisitos de defesa em profundidade e pode ser usado para reforçar a segurança de novos Irradiadores além dos que já estão em operação.

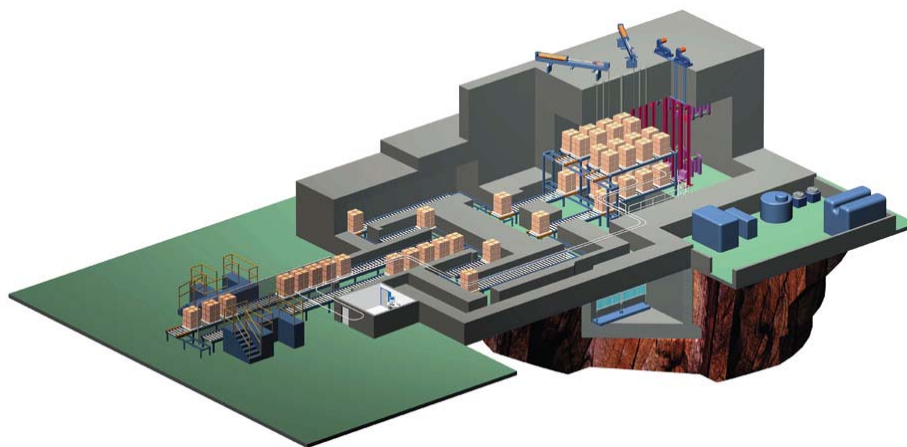


Figura 1. Irradiador Gama categoria IV

2. CONFIABILIDADE DE SISTEMAS DE SEGURANÇA

Em aplicações onde o risco potencial de dano aos seres humanos é grande, como em Irradiadores Gama ou Aceleradores de Elétrons, um dos requisitos de projeto é usar engenharia de confiabilidade para obter um sistema onde o risco potencial de falha é menor que o risco aceitável para o indivíduo (Parry, 1989), sendo que o risco aceitável calculado é de 10^{-6} para o caso de Irradiadores (ICRP 76, 1997).

Este requisito é atingido normalmente usando redundância física de componentes de um dado sistema de segurança, pois é conhecido da teoria da confiabilidade que sistemas em paralelo têm sua confiabilidade aumentada, por exemplo, sejam três subsistemas A, B e C funcionando em paralelo conforme Fig. (2), a confiabilidade R_s do sistema total é dada pela Eq. (1), a qual mostra claramente que esta é muito maior que a dos subsistemas individuais.

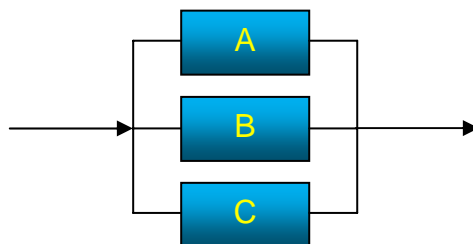


Figura 2. Sistema em paralelo

$$R_s = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)(1 - R_C) \quad (1)$$

Esta afirmação é verdadeira desde que os subsistemas não estejam sujeitos a modos de falha comum, pois neste caso a confiabilidade é enfraquecida aumentando o potencial de risco. Modo de falha comum é definido como uma falha em 2 ou mais componentes redundantes devido à uma mesma causa. Por exemplo, 2 sensores de proximidade magnéticos que indicam porta fechada de um Irradiador podem falhar na indicação se sujeitos à um campo magnético externo. Em outras palavras a confiabilidade requerida só pode ser conseguida empregando diversidade e independência nos dispositivos redundantes, por exemplo, usando um relê imune a interferência eletromagnética, ou seja, a confiabilidade requerida só será atingida com a Defesa em Profundidade, aplicando redundância, diversidade e independência nos sistemas de proteção. A definição para estes atributos é encontrada na Safety Series 107 (IAEA, 1992), resumida abaixo:

Redundância, o uso de mais que o número mínimo de itens necessários para executar uma dada função de segurança. Redundância capacita que uma falha ou indisponibilidade de um item seja tolerada sem perda da função.

Diversidade, é aplicada a sistemas redundantes que realizam a mesma função incorporando diferentes atributos no sistema, tais como diferentes princípios de operação, diferentes variáveis físicas, diferentes condições de operação, produzido por diferentes fabricantes, etc, minimizando o risco de falhas comuns acontecerem.

Independência, é obtida através de isolamento funcional e separação física, tornado o funcionamento de um dispositivo independente do funcionamento de outro, da fonte de alimentação e do local instalação. Além disso, o dano em um local não deve causar a perda de ambos os dispositivos, sendo tolerada ou mitigada.

Estes atributos são largamente empregados nos dispositivos de campo ligados a um controlador central, o qual é construído usando principalmente duas tecnologias: relês ou CLP – Controlador Lógico Programável.

Relês eletromecânicos: são sistemas de baixo custo, de fácil documentação, sendo imunes a diferentes tipos de interferência, possuem confiabilidade de 98% para modos de falha bem conhecidos. As principais desvantagens são inflexibilidade para mudanças requeridas que quando necessárias possam colocar em risco o sistema total, a baixa confiabilidade, pois estimando 200 entradas por ano de um operador no Irradiador, ele estaria entrando com a fonte exposta 4 vezes no ano. Sua confiabilidade seria aumentada usando redundância de circuitos no painel de controle, porém isso torna o sistema complicado, além da falta dos atributos de diversidade e independência. Uma opção de melhoria desenvolvida nos últimos anos são os chamados relês de segurança, os quais possuem circuitos de diagnóstico que verificam a falha do relê, colocando o sistema em condição segura (*fail safe*).

CLP: são dispositivos que usam microprocessadores, portanto a lógica de funcionamento é programável via software, são de fácil utilização, permitem coleta de dados, criação de interfaces avançadas com o operador e ligação em rede. A maior preocupação está relacionada com a confiabilidade do software e segurança contra alterações indevidas. A probabilidade de falha é de cerca de 1 em 1000, também neste caso a confiabilidade é aumentada usando redundância física ou CLP de segurança com circuito diagnóstico que conduzem a operação para um estado seguro.

Como a preocupação do caso de dispositivos programáveis está relacionada com o software, a Defesa em Profundidade no software pode ser obtida através de diferentes procedimentos de programação, linguagens simples e não convencionais e uso de programadores distintos na codificação.

A utilização de um sistema baseado em PC, diferente dos sistemas atuais adotados, independente de relês ou CLP, funcionando em paralelo, programado com linguagem gráfica de fácil utilização, possibilita um sistema com todos os requisitos de Defesa em Profundidade (para o sistema de controle) necessários neste tipo de instalação.

Existe um grande debate na comunidade de automação a respeito das vantagens e desvantagens entre relês, CLP's e PC's para automação de processos e sistema de segurança. Nosso objetivo aqui não é apontar o PC como uma solução única para o problema de sistema de segurança de alta confiabilidade, mas sim usar suas vantagens para trabalhar em conjunto com relês ou CLP's, reforçando a confiabilidade total do sistema.

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

3.1 Software

Criar um programa em *LabVIEW* consiste de três etapas básicas: definição da interface com o usuário (painel frontal), desenho do código gráfico (diagrama de blocos) e teste / uso da aplicação.

A interface foi desenvolvida levando-se em consideração facilidade de comunicação com o usuário, código de cores e fatores humanos definidos na Safety Series 107, 1992. A Fig. (3) apresenta a interface desenvolvida.

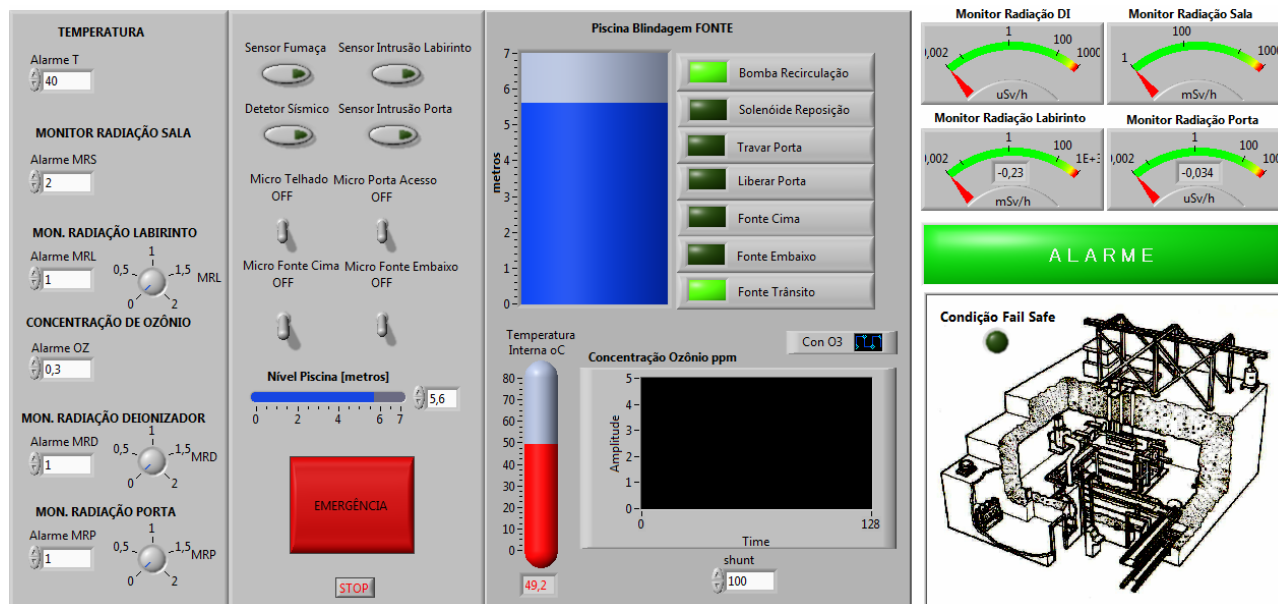


Figura 3. Interface do sistema de segurança

Para desenvolver o código gráfico foram listados todos os dispositivos, sensores e atuadores recomendados por normas específicas (ANSI-N43.10, 1984; Safety Series 107, 1992) e utilizados por Irradiadores em operação. Os requisitos da norma Safety Series 107, 1992 como, por exemplo, o item: “523. A fixed radiation monitor with built-in redundancy and audible alarms shall be located such that the monitors will detect any part of a radioactive source being brought out on a product carrier. These monitor shall be interlocked with the irradiator controls such that if radiation at the exit port exceeds a predetermined level, the conveyor with carries products from the radiation room to the exit port will stop and the source automatically become fully shielded”, foram transformados em lógica de controle,

e programados em *LabVIEW*. Rotinas de aquisição de dados e rotinas de diagnóstico (*watch dog*), também foram implementadas para conduzir o Irradiador para o estado seguro com fonte blindada no caso de falha no programa ou no hardware de aquisição de dados. Os diagramas de blocos são observados nas Fig. (4) e Fig. (5).

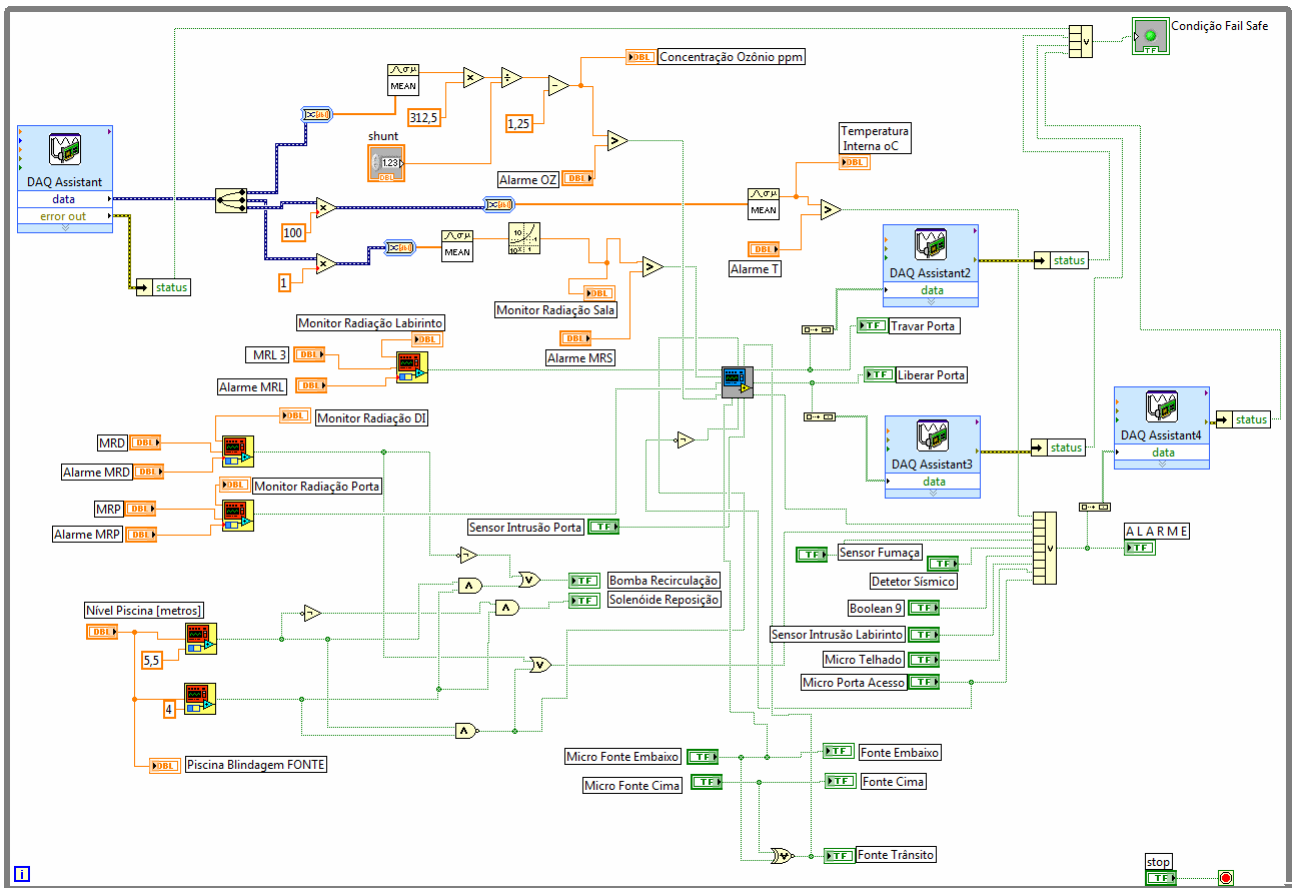


Figura 4. Diagrama de blocos do sistema de segurança

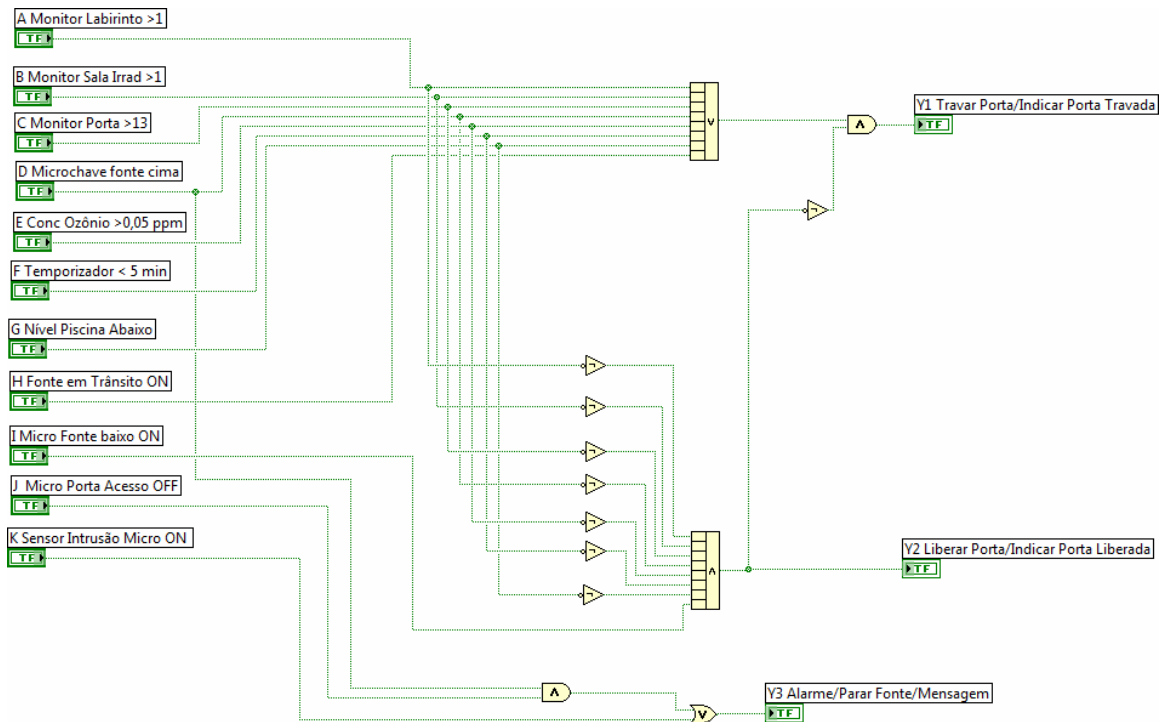


Figura 5. Lógica do subsistema de controle de acesso

3.2 Hardware

Os dispositivos, sensores e atuadores ligados ao sistema central de segurança do Irradiador são de vários tipos e com princípios de operação diferentes (Defesa em Profundidade), trabalhando com sinais do tipo tensão, corrente, resistência, comunicação serial, sinais ON-OFF, etc. Para testar o sistema de controle desenvolvido sem necessidade de parada de um Irradiador de produção, foi construído um circuito simulador capaz de simular sensores e atuadores disponíveis no Irradiador real.

Os sensores/dispositivos escolhidos para teste via circuito simulador foram:

1. Um monitor de radiação, com saída de tensão de 0-5 volts, simulado usando o circuito gerador de tensão, esquematizado na Fig. (6).

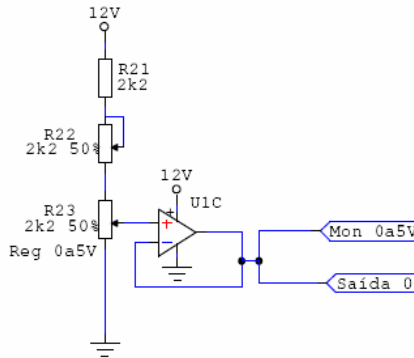


Figura 6. Circuito simulador do monitor de radiação

2. Um sensor de concentração de ozônio, com saída de corrente de 4-20 mA, simulado por um gerador de corrente, conforme esquema da Fig. (7).

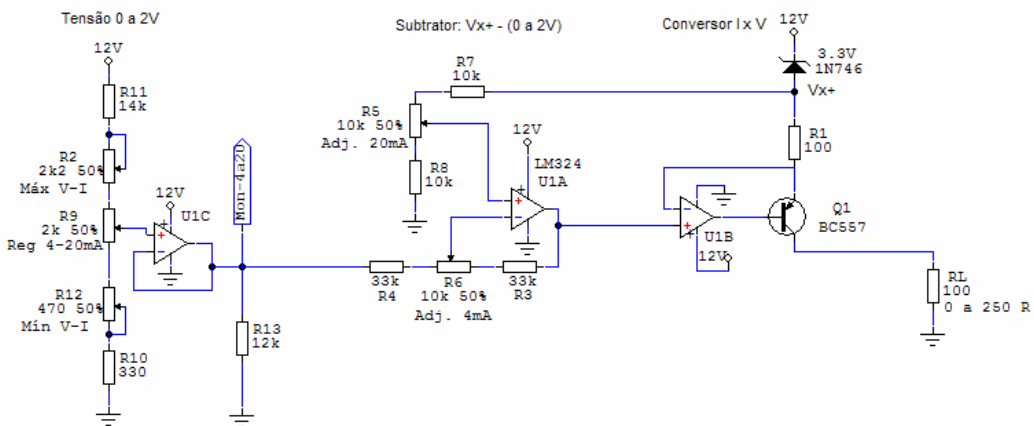


Figura 7. Circuito simulador do sensor de ozônio

3. Um sensor de calor foi simulado por um termômetro semicondutor LM35, montado conforme circuito mostrado na Fig. (8). Este tipo de sensor foi adotado apenas para teste do sistema de segurança, pois semicondutores não resistem à exposição prolongada à radiação. Na prática de Irradiadores são usados termopares tipo K.

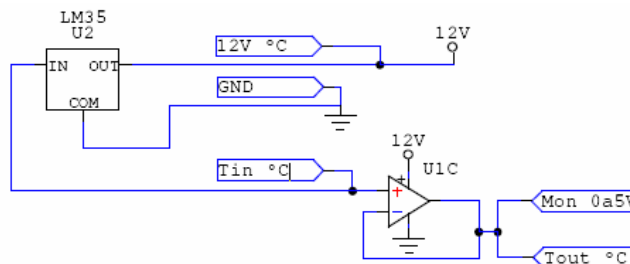


Figura 8. Circuito do sensor de temperatura

4. Atuadores ON-OFF, foram simulados por um circuito digital com sinalização por *Ligth Emition Diode*, representado na Fig. (9).

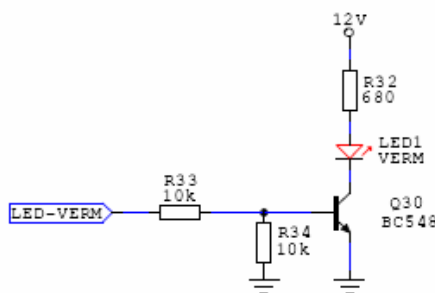


Figura 9. Circuito representando os atuadores ON-OFF

As saídas do circuito de simulação foram ligadas à uma placa multifuncional de aquisição de dados USB-6008, a qual possui 8 entrada analógicas, 12 I/O digitais e 2 saídas analógicas. Esta placa é adequada apenas para desenvolvimento e testes do sistema. Para implementação é necessário usar uma placa com maior número de pontos de I/O, de qualquer fabricante, pois programas desenvolvidos em *LabVIEW* independem do tipo de hardware utilizado, podendo rodar em diferentes plataformas.

3.3 Testes e Validação

A validação foi realizada simulando a atuação dos sensores e verificando a ação do software e dos atuadores demandados, comparando os resultados contra as especificações definidas na norma Safety Series 107, 1992. Em todos os casos as ações requeridas pelo sistema foram realizadas com sucesso.

Os testes de validação foram realizados inicialmente somente via software para verificar todas as ações de controle. Uma atenção especial em sistemas de segurança deste tipo é para a função de controle de acesso, que efetivamente irá bloquear a entrada de pessoa(s) no interior da planta com a fonte em operação. Este subsistema foi testado satisfatoriamente executando as ações propostas. Os de erros de programação foram facilmente identificados graças as ferramentas de gerenciamento de erros e depuração do *LabVIEW*, auxiliando na correção e retestes.

Com a garantia que as funções foram executadas corretamente, o próximo passo foi testar as rotinas de aquisição de dados, atuação de saídas e rotinas de diagnóstico (*watch dog*), com resultados satisfatórios esperados para o sistema de segurança com um todo.

3.4 Vantagens do Desenvolvimento do Sistema Usando Linguagem Gráfica

As principais vantagens que podem ser apontadas são:

- 1) Programação intuitiva, baseada em diagrama de blocos e fluxo de sinais, possibilitando minimização de erros de codificação e aumentando a confiabilidade do software.
- 2) Possibilidade de uso de diversas plataformas de hardware do mercado, além do uso de qualquer tipo de sensor, atuador, dispositivo ou protocolo de comunicação.
- 3) Utilização de hardware *multicore* é possível, para programação de rotinas críticas em diferentes processadores, garantindo redundância de hardware.
- 4) Ferramentas de engenharia de software estão disponíveis, para gerenciamento dos requisitos e etapas de codificação, com reflexo na confiabilidade do sistema final.
- 5) Funções pré-definidas para construção de algoritmos complexos, possibilitando controle e integração total da planta de Irradiação.
- 6) Controle de acesso para alterações do programa, garantindo integridade do software no decorrer do tempo.
- 7) Possibilidade execução de testes de rotina via software, com menor custo de operação.
- 8) Visualização e controle da planta remotamente via Internet.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de segurança para Irradiadores Gama categoria IV utilizando a linguagem gráfica *LabVIEW*. O sistema desenvolvido não é baseado em CLP ou relês, tradicionalmente utilizados, possui Defesa em Profundidade intrínseca, possibilitando reforçar a segurança de novos Irradiadores ou dos em operação, trabalhando paralelamente aos sistemas já instalados.

O software pode facilmente ser implementado em Irradiadores usando controladores ou placas de aquisição adequados para a aplicação, sem a necessidade modificações no programa aplicativo, graças a capacidade do *LabVIEW*

rodar em diferentes plataformas de hardware. Outro ponto importante é curto tempo de desenvolvimento da aplicação, graças às características de programação gráfica.

Se este sistema de segurança for implementado e utilizado em Irradiadores Gama, juntamente com controles baseados em CLP ou lógica de relês, teríamos plenamente os atributos de redundância, diversidade e independência (Defesa em Profundidade) associados ao sistema de segurança total, não apenas nos dispositivos de campo, mas também no controlador central, satisfazendo os requisitos das normas internacionais da Agência Internacional de Energia Atômica e garantindo a proteção de pessoas e meio ambiente contra exposição à radiação ionizante.

5. REFERÊNCIAS

- Rodrigues Jr., Ary de Araújo. Exemplos de Defesa em Profundidade para Irradiadores Gama de Categoria IV. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005.
- International Atomic Energy Agency. Safety Series 107. Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities, Vienna, 1992.
- Drndarevic, Vujo. Control of Gamma Irradiation Facility with Improved Safety System, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 45, No. 4, pp. 361 – 367 (2008).
- Parry, Richard R. Programmable Electronic Safety System. Proceedings of Particle Accelerator Conference, 1993, pp. 2225-2227. Vol 3.
- ICRP Publication 76. Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources, Pergamon, 1997.
- American National Standard Institute. Safe Design and Use of Panoramic, Wet Source Storage Irradiators. ANSI-N43.10-1984.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

SAFETY SYSTEM FOR GAMMA IRRADIATOR CATEGORY IV USING GRAPHICAL PROGRAMMING LANGUAGE

Samuel Justino da Silva, ssilva28@its.jnj.com
Roberson José da Silva, robersons@ig.com.br
Hildebrando Aparecido de Castro, hildebrando.castro@hotmail.com
Cristiane Martins, cmartins@ita.br

Aeronautics Institute of Technology, 12228-900 – São José dos Campos, SP, Brazil

Abstract: Gamma Irradiators category IV are industrial machine applied for radiation processing (sterilization, decontamination, polymerization and modification) of various products. In these machines there is a large quantities of radioactive material generally sources of cobalt-60, so they are able to provide high dose rates, which are lethal to humans exposed to radioactive source. To ensure the protection and environmental health, the safety system used must employ the concept known as defense in depth, that is, equipped with multiple barriers to failure on one level, is compensated by another, so that the total system does not compromised. This security system is composed of different devices, sensors and actuators digital and analog, and a central controller who possesses a high degree of reliability. This article presents the development of safety system using graphical programming language (*LabVIEW*), shows the assembly of test circuit designed to simulate the sensors used in safety system, discusses the test results of operation of the system developed compared with the requirements of the specific rules and argues the advantages of using this kind of language for building safety systems based on PC, aimed at meeting the standards of the IAEA and ensuring the protection of people and environment against ionizing radiation.

Keywords: *Gamma Irradiators, safety systems, graphical programming*

The authors are solely responsible for the content of the printed material included in his work.