

REQUISITOS DE PROJETO MECÂNICO DE COMPONENTES DO MECANISMO DE ACIONAMENTO DE BARRAS DE CONTROLE DE UM REATOR PWR

Francisco Louzano Leme e Miguel Mattar Neto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242 – Cidade Universitária
05508-000 São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

O mecanismo de acionamento de barras de controle do reator (MAB) é um equipamento eletro-mecânico integrado ao vaso de pressão de um reator nuclear PWR, tendo como função movimentar e posicionar as barras de controle e segurança, garantindo o controle de potência e a operação de desligamento do reator nuclear, quer seja em operação normal, quer seja em situações de emergência ou acidentais. O MAB citado neste trabalho é do tipo “Roller Nut”, basicamente constituído por uma haste com rosca na superfície externa onde esta acoplado magneticamente, através de roletes, um rotor de um motor de relutância magnética, responsável pelos movimentos de inserção e retirada das barras de controle. O MAB tem contato direto com o do fluido de processo no interior do reator. Este ambiente inclui não só o campo de radiação mas também a temperatura, pressão e as propriedades químicas associadas com as substâncias usadas como refrigerante do reator. Diante das funções acima apresentadas, destaca-se a importância dos requisitos de projeto, bem como as funções de segurança do MAB.

Keywords : control rod drive mechanisms design.

I. INTRODUÇÃO

O MAB é um equipamento de alta precisão, montado em bocais localizados no tampo do reator, conforme mostrado na Fig. 1, onde estão conjugados componentes mecânicos que deverão operar em contato com a água de processo do circuito do reator. O caráter severo desta aplicação impõe, além de um cuidado especial na especificação de ajustes, tolerâncias e acabamento de superfície, uma seleção criteriosa de materiais capazes de suportar não só as condições de radiação nuclear, mas também resistir a pressões da ordem de 17 N/mm^2 e temperaturas da ordem de $300 \text{ }^\circ\text{C}$, além das características químicas associadas ao fluido de processo. Mais ainda, parte do MAB compõe a barreira de pressão do sistema de resfriamento do reator, tendo que desempenhar, também, as funções de segurança relacionadas a essa participação.

Neste trabalho será considerado como exemplo de característica construtiva o MAB tipo “Roller-Nut”. Os conceitos aqui apresentados podem porém ser estendidos para outros tipos, como o “Magnetic-Jack”.

II. DESCRIÇÃO FUNCIONAL

Um MAB de reatores PWR “roller-nut” típico é constituído mecanicamente por uma haste rosca sobre a qual acoplam-se quatro roletes com estrias transversais na superfície externa e eixo longitudinal inclinado em relação ao eixo da haste, o que permite um perfeito acoplamento com a rosca da referida haste. Estes roletes estão montados internamente em um rotor bi-partido de um motor elétrico de relutância magnética. Entre o referido rotor e o estator existe um tubo de contenção que confina a pressão interna do vaso do reator, pois o mecanismo, constituído de haste/roletes/rotor trabalha mergulhado no fluido de processo.

O acabamento superficial dos componentes do MAB deve ser cuidadosamente especificado levando em consideração uma possível necessidade de descontaminação superficial.

III. MODOS DE OPERAÇÃO

O mecanismo de acionamento de barras de controle - MAB- deverá operar do seguinte modo [1]:

a) Operação de inserção de barras- ao girar o rotor bi-partido no sentido anti-horário (visto por cima do vaso), será transmitido para a haste, através dos roletes um movimento axial descendente.

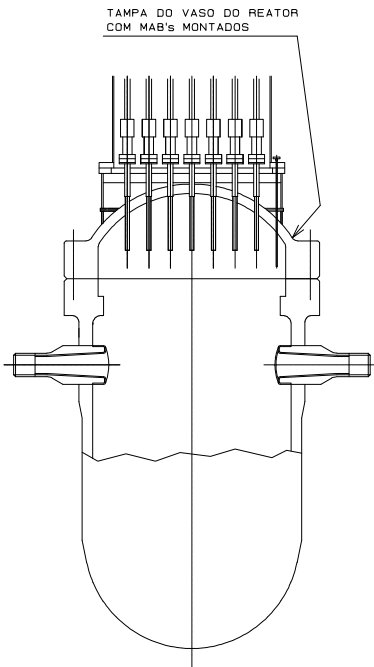


Figura 1. Vaso de um Reator PWR.

b) Operação de retirada das barras- ao girar o rotor bi-partido no sentido horário (visto por cima do vaso), será transmitido para a haste através dos roletes um movimento axial ascendente.

c) Operação de manutenção das barras em determinada posição- o rotor bi-partido permanece parado (sem girar). A haste permanece também travada axialmente, por estar acoplada aos roletes, pois o rotor está energizado magneticamente.

d) Operação de inserção rápida das barras -Nesta condição o rotor é desenergizado permitindo o desacoplamento entre roletes e haste, o que resulta na inserção rápida das barras de controle e segurança através da ação do peso do conjunto Haste+Barras de controle, auxiliado pela força de expansão da mola de compressão aplicada para essa finalidade.

IV. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES

São descritos a seguir os principais itens mecânicos que compõem o MAB. Para facilitar a identificação dos componentes, relacionamos os mesmos com sua respectiva posição no conjunto apresentado na Fig. 2:

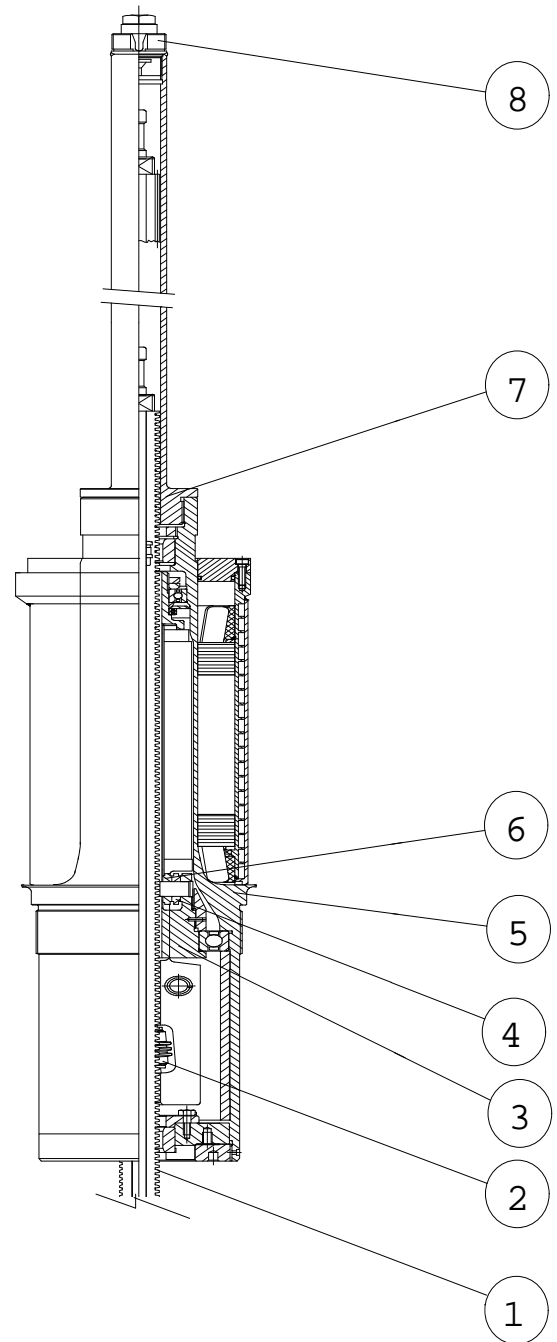


Figura 2. Conjunto do MAB.

Haste (pos. 1): Barra de seção circular com rosca trapezoidal e furação axial, por onde passa o tirante de movimentação do pino de trava da haste no cubo da aranha (peça suporte dos tubos absorvedores de radiação). A haste é o componente responsável pela transformação dos movimentos de giro do rotor em movimentos axiais das barras de controle e segurança.

Roletes (pos. 2): Elementos de ligação no acoplamento entre o rotor bi-partido e a haste. O rolete acopla-se à rosca da haste através de filetes paralelos usinados na superfície externa. O rolete apresenta uma usinagem interna adequadamente caracterizada para servir de anel externo do respectivo mancal solidário ao rotor bi-partido.

Rotor Bi-partido (pos. 6 e 4): O rotor conjunto é formado basicamente por uma peça central de forma tubular denominada tubo do rotor, e por duas outras peças simétricas articuladas na base do tubo do rotor denominadas rotor bi-partido. O rotor bi-partido age sobre a haste através de uma ação de pinça. Esta pinça fecha-se sobre a haste, na região dos roletes, por ação da força magnética (força magnética radial gerada pelo estator) e abre-se por ação da força de expansão de duas molas de compressão convenientemente colocadas entre as partes do rotor bi-partido, próximo aos roletes. Portanto quando energizado o sistema provoca um acoplamento entre rotor e haste, e quando desenergizado libera a haste para a operação de inserção rápida.

Tubo do Rotor (pos. 3): Peça central do rotor, com forma geometricamente tubular, onde está ancorada a articulação do rotor bi-partido.

Tubo do Estator (pos. 5): Peça de forma tubular, que é responsável pela contenção de pressão do MAB na região onde é montado o estator elétrico do motor do referido mecanismo.

Tubo de contenção superior (pos. 7): Peça de forma tubular, responsável pela contenção de pressão do MAB na região onde é montado o sensor do indicador de posição.

Válvula de Purga (pos. 8): Componente responsável pela drenagem de gases e vapores na extremidade superior da contenção do MAB.

V. FUNÇÕES DE SEGURANÇA NUCLEAR E CLASSIFICAÇÕES

Conforme a norma ANSI/ANS 51.1-83 [2], a função de segurança nuclear do sistema de controle de reatividade do reator é atingir e manter a condição de subcriticalidade do núcleo para qualquer modo de operação normal ou evento normal. Deverá introduzir reatividade negativa ou limitar a introdução de reatividade positiva quando necessário.

A função de segurança não nuclear do sistema de controle de reatividade é resistir a falhas que poderiam impedir qualquer equipamento de segurança realizar sua função de segurança e realizar controle de reatividade de uma operação normal.

Os sistemas de controle de reatividade correspondem a:

a) componentes de controle de reatividade necessários para o desligamento do reator tal como barras de

controle, MABs e aquelas partes do MAB utilizadas para rápida inserção das barras de controle;

- b) sistemas de resfriamento auxiliar que funcionam para ajustar a concentração dos absorvedores de neutrons;
- c) partes do sistema de resfriamento de emergência cuja função é injetar absorvedores de neutrons no refrigerante do reator.

Assim, o MAB é um equipamento importante para o desempenho das funções de controle de potência do reator que, como componente nobre de uma central nuclear, tem fortes requisitos de segurança a serem obedecidos [4].

Os componentes do MAB estão classificados de acordo com a norma ANSI/ANS 51.1-83 [2] como classe de segurança 1 (SC-1) na fronteira de pressão (componentes de contenção - tubo do estator e tubo de contenção superior) e classe de segurança 3 (SC-3) no que se refere aos componentes mecânicos internos. Os componentes elétricos, como o estator, são classificados como classe de segurança não nuclear, porém as chaves (interruptores destinados a comandar a inserção rápida das barras (desligamento do estator) são classificadas como classe de segurança 3 (SC-3).

Os critérios de aceitação do projeto, relacionados aos MAB's, previstos pelo Relatório de Análise de Segurança [6], baseiam-se no 10 CFR 50 [5], onde pode-se destacar:

- a) Critério Geral de Projeto 23: Modo de Falha do Sistema de Proteção;
- b) Critério Geral de Projeto 25: Requisitos do Sistema de Proteção para mau funcionamento do controle de reatividade;
- c) Critério Geral de Projeto 26: Redundância e Capacidade do Sistema de Controle de Reatividade;
- d) Critério Geral de Projeto 27: Capacidade dos Sistemas de Controle de Reatividade Combinada;
- e) Critério Geral de Projeto 28: Limites de Reatividade;
- f) Critério Geral de Projeto 29: Proteção contra Ocorrências Operacionais Postuladas.

VI. REQUISITOS DE PROJETO MECÂNICO

Os componentes do MAB que fazem parte da barreira de pressão do circuito de resfriamento do reator devem ser projetados de acordo com os requisitos da norma ASME -Boiler and Pressure Vessel Code - Section III Division 1 - Nuclear Power Plant Components [3]. Mais ainda, como são classificados como classe de segurança nuclear 1, deve-se atender à Subsection NB Class 1 Components de [3]. Para esses componentes, a norma estabelece os requisitos para a escolha de materiais, para o projeto mecânico e estrutural, para a fabricação e montagem e para os testes de qualificação e aceitação. Nos demais componentes devem ser aplicados critérios compatíveis aos indicados acima, ressaltando a escolha de materiais capazes de resistir às condições de corrosão características da composição química do fluido de processo.

Destacamos, em especial, o material aplicado aos rolamentos que trabalham mergulhados em água, sem

lubrificação convencional, e que, nestas condições, não deverão permitir o desprendimento de eventuais partículas resultantes do fenômeno de fadiga das pistas de rolamento das esferas.

VII. REQUISITOS DE PROJETO PARA OS COMPONENTES ELÉTRICOS

De acordo com o parágrafo 4.2.5.4 da norma ANSI/ANS-51.1-1983 [2] não existem requisitos especiais sob o ponto de vista de segurança nuclear para o projeto elétrico do MAB. Cabe porém ressaltar que o sistema de proteção elétrico deverá apresentar interruptores de corrente suficientemente seguros e de operação confiável capazes de produzir um desligamento seguro do estator do motor. Além disso, no regime de operação normal, o sistema de alimentação elétrica deverá fornecer uma tensão constante para o bom funcionamento do referido estator de acordo com os comandos do sistema de comutação responsável pelo controle da rotação.

Os componentes elétricos do MAB são motor (estator), cabos, painéis de controle, chaves interruptoras e sistemas elétricos auxiliares. Esses componentes com classe de segurança 3 (SC-3) devem atender os requisitos correspondentes a norma IEEE – Classe 1E [7-15].

O motor (estator) deve atender as normas IEEE-334 [8] e IEEE-344 [11], os cabos devem atender as normas IEEE-344 [11] e IEEE-383 [14], os painéis de controle devem atender as normas IEEE-344 [11], as chaves interruptoras a norma IEEE-344 [11]. Os componentes elétricos dos sistemas auxiliares do MAB, como é o caso do sistema de resfriamento do estator, devem atender as normas IEEE-279 [7], IEEE-336 [9], IEEE-338 [10], IEEE-352 [12], IEEE-379 [13], IEEE-577 [15]. Com base nos requisitos dessas normas são estabelecidos os requisitos de projeto a serem atendidos, incluindo aqueles relacionados ao projeto mecânico dos componentes elétricos.

VIII. CONCLUSÕES

O MAB é um equipamento que desempenha funções de muita importância em um reator PWR, tanto do ponto de vista de segurança como do ponto de vista econômico, pois seu bom funcionamento irá influir diretamente no controle adequado da potência desenvolvida no reator, em qualquer situação e, também, em manobras de desligamento e de apagamento rápido, em situações de emergência ou acidentais. Isso reflete-se na classificação quanto a segurança dos componentes do MAB e nos seus requisitos de projeto descritos nesse trabalho, ressaltando-se os aspectos de multidisciplinaridade, com muitas interfaces decorrentes.

Para o MAB tipo “roller-nut,” deve-se destacar, ainda, as condições de trabalho e operação sem lubrificação convencional, ou seja, lubrificado com a água de processo.

Nesse caso, há requisitos adicionais para os internos dos MABs, também aqui indicados.

REFERÊNCIAS

- [1] Freund, G. A., “Materials for Control Drive Mechanisms”, 1963.
- [2] American Nuclear Society. **Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants**. USA, April 29, 1983 (ANSI/ANS-51.1-1983).
- [3] American Society of Mechanical Engineers. **ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Nuclear Power Plant Components**. USA, 1998.
- [4] Mattar, M. N. **Uma Abordagem para a Definição de Critérios, Códigos e Normas para o Projeto Mecânico e Estrutural de Componentes de Centrais Nucleares** CGEN-Rio de Janeiro - 1994-ANAIS PROCEEDINGS, p.1055-1059.
- [5] United States Nuclear Regulatory Commission. Code of Federal Regulations, Title 10, Chapter 1, Part 50, Appendix A, **Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities USA (10CFR50)**.
- [6] United States Nuclear Regulatory Commission. **Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants- LWR Edition**. USA, July 1981 (NUREG-0800).
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers - **IEEE- Criteria for Protection Systems for Nuclear – Power Generating Stations IEEE-279-1971**.
- [8] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE- **Standard for Type Tests of Continuous Duty Class 1E Motors for Nuclear Power Generation Stations IEEE-334-198**.
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE- **Installation, Inspection and Testing Requirements for Instrumentation and Electric Equipment During the Construction of Nuclear Power Generating Stations- IEEE-336-198**.
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE- **Standard Criteria for the Periodic Testing of Nuclear Power Generating Station Class 1E Power and Protection Systems IEEE-338-1977**.
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE- **Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Generating Station IEEE-344-1982**.

[12] Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE- - **Guide for General Principles of Reliability
Analysis of Nuclear Power Station Protection Systems
Engineers** IEEE-352-1975.

[13] Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE- - **Guide for the Application of the Single Failure
Criterion to Nuclear Power Generating Station Class 1E**
IEEE-379-1977.

[14] Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE- **Standard for Type Test of Class 1E Electric
Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear
Power Generation Stations** IEEE-383-1974.

[15] Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE- **Requirements for Reliability Analysis in the
Design and Operation of Safety Systems for Nuclear
Power Generating Stations** IEEE-577-1976.

ABSTRACT

The Control Rod Drive Mechanism (CRDM) is usually - a high precision - equipment incorporating mechanical and electrical components designed to move the control rods. The "control rods" refer to all rods or assemblies that are moved to assess the performance of the reactor. The CRDM here presented is the Nut and Lead Screw type. This type is basically a power screw type magnetically coupled to a slow speed reluctance electric motor that provides a means of axially positioning the movable fuel assemblies in the reactor core for purpose of controlling core reactivity. A helically threaded lead screw assembly, comprising one element of power screw, is attached to a movable fuel assemblies. The CRDM usually has closer and more consistent contact with environment peculiar to the reactor than has only other machinery component. This environment includes not only the radiation field of the reactor, but also the temperature, pressure and chemical properties associated with the material used as the coolant for reactor fuel. Specific and special materials are needed because of the above mentioned application. Due to the importance of the above described CRDM functions, this paper will also consider the nuclear functions and their safety classes as well as the CRDM nuclear design criteria.