

CONTROL AUTOMATICO DEL REACTOR NUCLEAR RA4 UNR

Rubio Scola, Héctor E.; Marenzana A.; Nachez, J. C.

Escuela de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura. CIUNR, Universidad Nacional de Rosario.

E-mail: marenzan@fceia.unr.edu.ar

Resumen:

Se diseñó una técnica para realizar un control automático fino del reactor RA4, (siemens untrrichts reaktor - SUR 100). El control original (manual) de la potencia se logra con dos placas de control de cadmio que se posicionan por medio de motores eléctricos de corriente continua; el desplazamiento de éstas permite obtener el estado crítico del reactor a través del posicionamiento de las placas de control. Previamente se desarrolló un dispositivo para lograr un control más preciso de la potencia en la operación del reactor, que permita introducir pequeñas magnitudes de reactividad con precisión, facilitando el estudio de la cinética del reactor, obteniéndose un modelo no lineal del sistema completo.

Para realizar este control automático del reactor primeramente se linealiza el modelo mediante una realimentación dinámica denominada DFL (Direct Feedback Linearization). Una representación esquemática de esta técnica se puede ver a continuación:

INTRODUCCIÓN

El reactor nuclear RA-4, Siemens untrrichts reaktor - SUR 100, (Fig. 1) es un reactor de docencia e investigación, de núcleo cilíndrico homogéneo (polietileno y U3O8), cuya potencia nominal autorizada es 1 W. El control de potencia del reactor se lleva a cabo mediante el desplazamiento de dos placas verticales de cadmio situadas en el reflector de grafito.

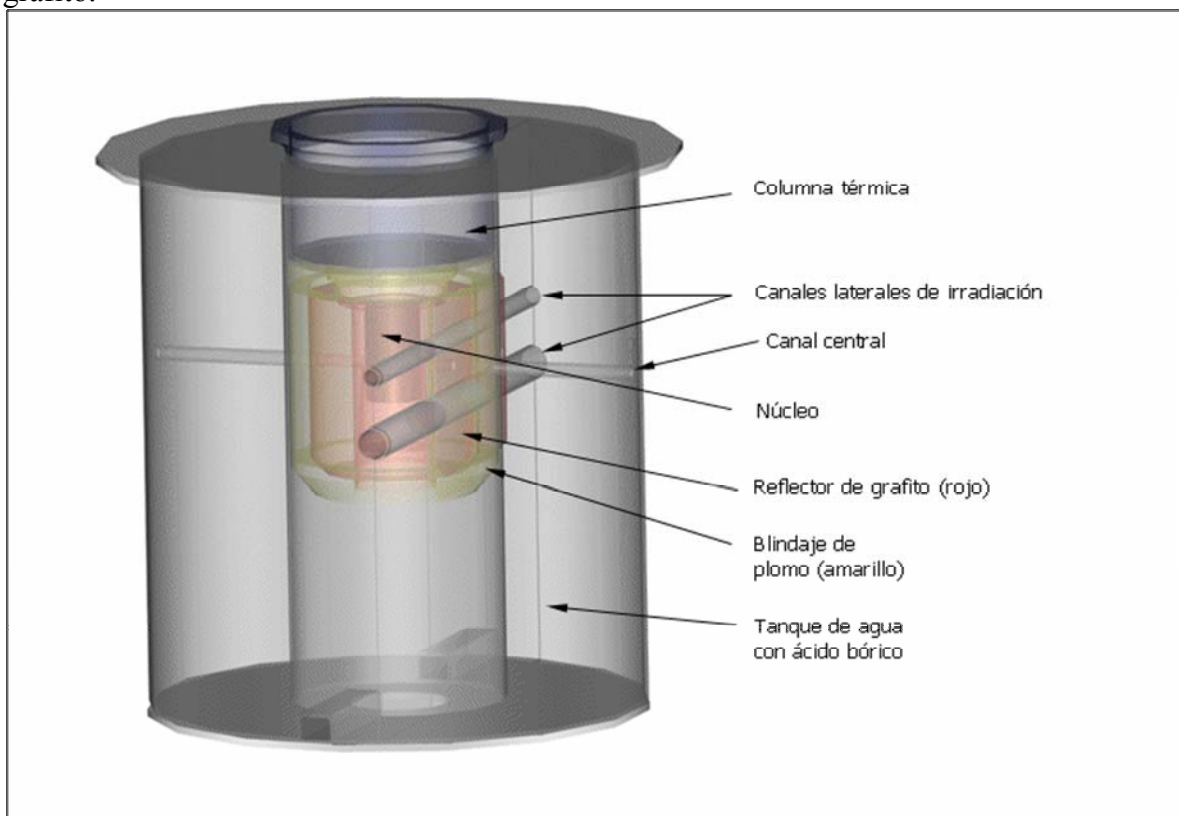


Fig. 1: Esquema del reactor nuclear RA-4

El recorrido total de las placas es de 25 cm cada una. El reactor posee cinco facilidades de irradiación, de las cuales la más utilizada es el canal central, que atraviesa horizontalmente el núcleo por su centro. Los canales de irradiación restantes son: dos verticales, uno tangencial, y uno coaxial con el eje del núcleo y dos canales laterales horizontales.

DISEÑO DE LA BARRA DE CONTROL FINO

El control de potencia del reactor original se lleva a cabo mediante el desplazamiento de dos placas verticales de cadmio situadas en el reflector de grafito. El recorrido total de las placas es de 25 cm cada una. Para poder tener un mejor control del reactor se diseñó una barra de control fino.

Se eligió para la realización del dispositivo alguno de los canales de experimentación ubicados en forma horizontal por la facilidad de acceso y montaje de la mecánica de desplazamiento.

Se descartó inicialmente el canal central debido a su utilización principal para irradiación de muestras [1] , quedando la opción de los canales laterales, ambos de características similares [1]. Se optó finalmente por la facilidad del canal lateral inferior, debido a que permite una instalación más práctica del mecanismo de movimiento.

El canal lateral inferior (Fig. 2) pasa a 25 cm del eje del núcleo del reactor, angencialmente atravesando el reflector, 10 cm por debajo del nivel medio del núcleo. El diámetro interior utilizado es de 54 mm. El flujo de neutrones térmicos es de $3.106 \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$

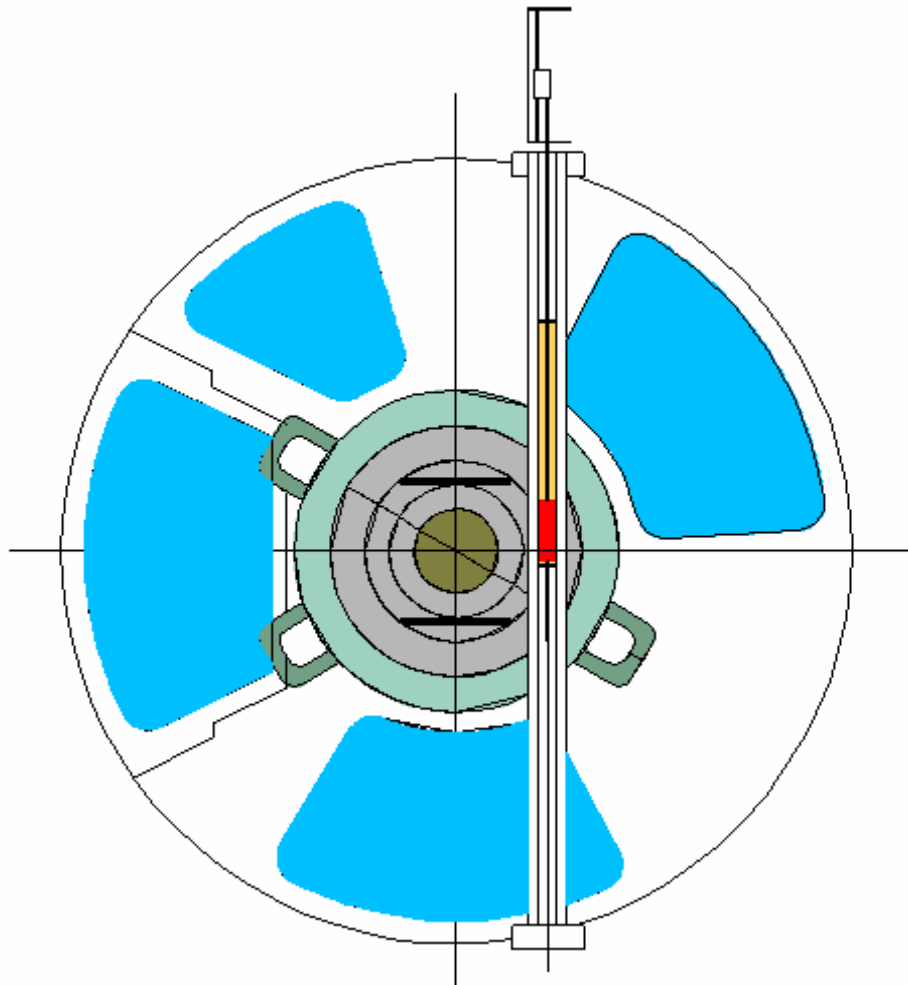


Fig. 2: Corte horizontal a la altura del canal lateral inferior

DISEÑO INTERFACE COMPUTADORA -REACTOR

Se implementa una interface para conexión de una computadora para implementar los diversos controladores y observadores realizados para testear su performance. Diseño de un adquisidor de datos de la potencia del reactor a través del canal de marcha, estos datos SERÁN procesados por el computador el cual generará una señal que actuara sobre el motor pasa a paso de la barra de control fino.

LINEALIZACIÓN DEL MODELO

La teoría de control de sistemas no lineales ha sido desarrollada por largo tiempo, donde la principal tendencia está dirigida al análisis de problemas de vibraciones y teoría de estabilidad.

No se ha encontrado todavía un método bien aceptado para el diseño y síntesis en problemas de control de sistemas no lineales. En la última década en esta área, uno de los logros más destacados está basado en la teoría geométrica diferencial. La aproximación geométrica para linealizar una planta no lineal involucra un paso de realimentación estática y un cambio de coordenadas. Un inconveniente a destacar es que en las transformaciones de coordenadas no lineales se pierde mucha información práctica importante y hace que el diseño a lazo cerrado resultante se torne muy complejo. Este método tiene además la desventaja de requerir un modelo muy exacto, lo que no es muy común en las aplicaciones de ingeniería en control.

Otro método es el de linealización por control realimentado (DFL). La ley de realimentación linealizante resultante no está restringida a la forma estática sino que puede ser dinámica; más aún, la transformación no lineal de coordenadas puede ser evitada. El método supone conocido el modelo de ecuaciones diferenciales de alto orden que relaciona las entradas y salidas. Comenzando con el modelo de ecuaciones diferenciales de un sistema, un control linealizante por realimentación, puede ser encontrado para que cumpla con los requerimientos anteriores. El procedimiento de diseño consiste en establecer el compensador DFL a través de una realimentación de variables de estado o salidas, la cual linealiza la planta no lineal con respecto a una nueva entrada $v(t)$.

Una representación esquemática de esta técnica se puede ver a continuación:

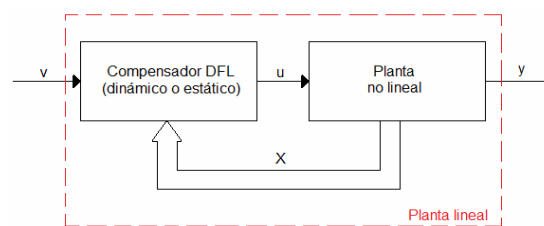


Figura 3: Representación esquemática de la técnica DFL

donde

X : son las variables de estado de la planta

u : es la entrada del sistema no lineal

y : es la salida del sistema no lineal

v : es la nueva entrada del sistema linealizado

CONTROL ROBUSTO SWLQR

En el diseño de controladores LQR (Linear Quadratic Regulator) se requiere de un modelo preciso de la planta a controlar para poder alcanzar niveles de performance deseados en el sistema controlado. Como sabemos, resulta imposible en la práctica, obtener modelos exactos de los sistemas a controlar debido a la presencia de distintas fuentes de incertidumbres que están siempre presentes a la hora del modelado.

El control SWLQR (Sensitivity Weighted Linear Quadratic Regulator) es una variación del control estándar LQR que permite aumentar la estabilidad robusta de los controles óptimos de costos cuadráticos ante la presencia de errores paramétricos.

Tipos de Incertidumbres

Los errores de modelado se pueden clasificar en dos grandes grupos: incertidumbres no estructuradas y errores paramétricos.

Cuando hablamos de incertidumbres no estructuradas estamos haciendo referencia a la diferencia en el comportamiento dinámico entre el modelo obtenido y el sistema físico real. Este tipo de error aparece normalmente cuando no se modela el comportamiento no lineal o se desprecia la dinámica de alta frecuencia del sistema en estudio.

La incertidumbre paramétrica hace referencia a los errores en los valores de los parámetros que caracterizan al sistema, bajo la hipótesis de que el modelo y el sistema real poseen la misma dinámica.

Filosofía del Control SWLQR

Para insensibilizar a los controles LQR convencionales de las variables inciertas (llamémoslas α_i), se debe agregar al funcional costo original, por cada variable incierta, un término cuadrático de la forma:

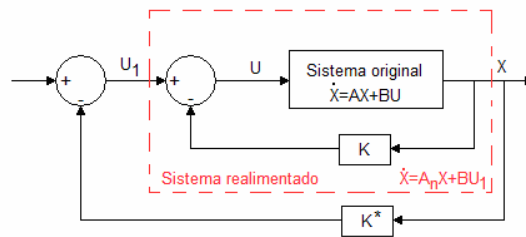
$$\frac{\partial X^T}{\partial \alpha_i} R_{\alpha\alpha_i} \frac{\partial X}{\partial \alpha_i}$$

que penaliza la sensibilidad del estado respecto del parámetro desconocido

La introducción de estos términos en el funcional costo es la forma matemática de establecer, que no solo se tendrán en cuenta las desviaciones del estado respecto de su punto de equilibrio o el mayor consumo de energía, sino también cuán sensible es el estado respecto del parámetro incierto

Control SWLQR sobre Sistemas No Invertibles

La técnica SWLQR puede ser aplicada solamente cuando la matriz A del sistema a controlar es invertible. Trabajos como “Incremento de Robustez en Controladores LQR. Aplicación a un Generador Síncrono” y “Control de un Generador Síncrono Mediante una Variante de la Técnica SWLQR” (ver referencias), proponen una manera de solucionar este inconveniente. Para lograr que la matriz A de nuestro sistema sea invertible, primero debemos realimentar al mismo para lograr estabilidad asintótica. Esto puede obtenerse mediante una realimentación de estados calculada a través de un criterio óptimo LQR. Luego sobre el sistema realimentado resultante puede aplicarse la técnica SWLQR para incrementar la robustez del mismo frente a los errores paramétricos. Un esquema de esta técnica es el siguiente:



Esquema de la técnica utilizada para poder implementar el control SWLQR sobre sistemas no invertibles

Resolviendo el problema SWLQR se encontrará una matriz de realimentación K^* que robustecerá al sistema. El control resultante $K + K^*$ será robusto pero parte de las características de performance obtenidas por el primer control se pierden en función de la incertidumbre de los parámetros.

MODELO DEL REACTOR

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{l^*} n + \lambda C$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\beta}{l^*} n - \lambda C$$

- n = concentración de neutrones por unidad de volumen (salida),
- ρ = reactividad (control),
- β = constante de fracción de neutrones retardados,
- l = constante del reactor.
- λ = constante de decaimiento del precursor de neutrones retardados.
- C = concentración de precursores.

Utilizando la técnica DFL, tomando $e = \frac{\rho}{n}$ es la nueva variable de control, resultando así un sistema lineal.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{-\beta}{l^*} n + \lambda C + \frac{1}{l^*} e$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\beta}{l^*} n - \lambda C$$

Se diseñan controladores aplicando diversas técnicas de control (Control robusto, SWLQR, Control difuso, Funciones Lyapunov: Backstepping, Control por modo deslizante, Control adaptable, etc.)

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

- Astrom, K. Wittermark, B.: Computer controlled- systems - Prentice- Hall. 1989.

- Cadzow, J; Martens, H.: Discrete time and Computer control systems. New Sersey. Prentice Hall.1980.
- D.Driankov H. Helledoon: M.Reinfrank: "An Introduction to Fuzzy Control" Springer-Verlag.1993.
- Driankov, D; Heltendoonim,H; Reinfrank,M.: An introduction to Fuzzy Logic-Springer Verlag.1984.
- Franklin, G; Powel, J; Workman, M: Digital Control of dynamic systems (3° edición) Addison Wesley M.1998.
- H.K. Khalil. Non linear systems, Prince Hall, 1996
- Kanellakopoulos, P. Kokotovi´c and A. Morse (1992). A toolkit for nonlinear feedback
- Isidori, A. (1996). Non linear Control Systems: An Introduction. second ed.. pring Verlag.
- Jimenez Avello: Aplicaciones de Fuzzi y Logic en tiempo real-Univ.Politec de Madrid. 1998.
- Kanellakopoulos, M. Kristi´c I. and P. Kokotovi´c (1995). Nonlinear and Adaptive Control
- Kats, P: Digital Control using microprocesador. New Sersey. Prentice Hall. 1975.
- Marenzana, A. Informe de Seguridad RA – 4, FCEIA; UNR
- Lein, W. (Editor): The Control Handbook CRC PRESS- IEEE Press.1996.
- M., Kritic and H. Deng (1998). Stabilization of Uncertain Nonlinear Systems. Spring Verlag.
- M.Henson and D.Se bong: "Nonlinear Process Control". Prentice-Hall.1997.
- Mendel, J.: Fuzzy Systems for Engineering - Porceeding of the IEEE, vol. 83, n° 3.1980.
- Nijmeijer, H. and A. van der Scaft (1990). Nonlinear Dynamical Control Systems. Spring
- Glasstone S L, Sesonske A *Ingenieria de Reactores Nucleares* Reverté, Buenos Aires (1968)