**Reporte planta RLC - Control Análisis en Variables de Estado**

David Gil Rúa

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas

Departamento de Ingeniería Eléctrica y automática,

Medellín, Antioquia, Colombia

Agosto 2024

Resumen

En este reporte se explica detalladamente el análisis y modelado de una planta RLC. Entre las actividades a realizar, se encuentra desarrollar un modelo del sistema, identificar las entradas y salidas, así como las variables y parámetros clave. Además, se realizarán análisis de estabilidad y controlabilidad, y se aplicará un control tanto en simulación como en la planta física.

**Palabras clave:** Variables de estado, RLC, modelo, estabilidad, controlabilidad, control, controlador, simulaciones.

1. Introducción

El control de sistemas es crucial en diversas áreas, desde la industria hasta la electrónica de consumo. Para implementar un control eficaz, es vital comprender a fondo el sistema en cuestión. Este entendimiento se logra mediante la modelación, que sirve como base para desarrollar estrategias de control precisas y eficientes.

Este informe se centra en un caso específico: el manejo de un sistema electrónico RLC, que combina inductancia, capacitancia y resistencia. El proceso comenzó con un modelado fenomenológico, derivando las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del sistema y obteniendo su representación en el Espacio de Estados.

Dado que el sistema se clasificó como lineal e invariante en el tiempo (LIT), se aplicaron técnicas de control apropiadas. Se realizó un análisis exhaustivo de estabilidad y controlabilidad utilizando MATLAB, seguido de simulaciones del sistema.

La segunda etapa del estudio se enfocó en el diseño de estrategias de control, incluyendo retroalimentación de estado, precompensación y control integral. Cada paso del proceso se explica detalladamente, presentando los hallazgos de la investigación.

El objetivo de este informe es ofrecer una perspectiva integral sobre el abordaje del control en sistemas complejos, proporcionando una comprensión profunda de las técnicas empleadas en este campo.

2. Modelado

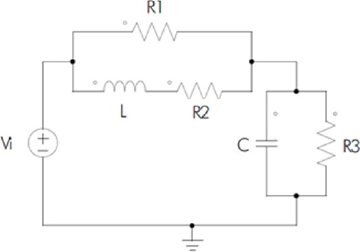


Figura 1. Modelado planta RLC

En la Figura 1. se observa el modelo de la planta, donde la entrada del sistema es 𝑉𝑖, que está dado por un DAC 5V controlado por un Arduino UNO, y la salida del sistema es el voltaje en la resistencia 𝑅3 que es igual a voltaje en el capacitor. Para la obtención del modelo se usaron las leyes de Kirchhoff y además se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones sacadas de la topología del circuito, las cuales no serán de utilidad para llevar la expresión al punto deseado.

Aplicando leyes de voltajes y corrientes de Kirchhoff se tiene que

Reemplazando y despejando se obtiene

Donde se termina que el voltaje en el capacitor y la corriente en el inductor son nuestras variables de estado, ya que son los elementos del sistema que almacenan energía y le brindan al sistema una dinámica. También se define a como la entrada del sistema. Con esto en mente se procede a realizar la representación en espacios de estados para el sistema

Dado que se tienen los parámetros de se procede a realizar la simulación en tiempo continuo de la planta, esto aplicando una entrada de voltaje de 4V

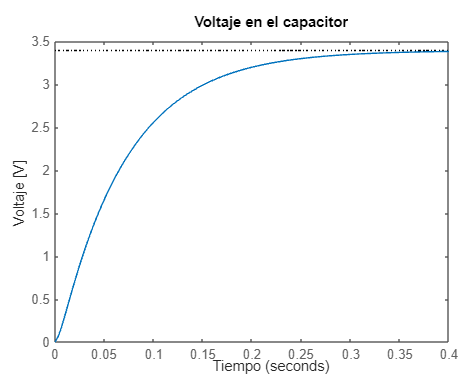


Figura 2. Simulación respuesta planta RLC

Donde se puede observar que el sistema en lazo abierto no alcanza la referencia puesta, además, se observa que la respuesta que tiene el sistema es rápida, dado que se estabiliza en menos de 4 segundos.

**3. Estabilidad, Controlabilidad y representación de la función de transferencia**

Ya que el sistema se encuentra planteado en espacio de estado se determina la función de transferencia asociada al sistema

Y se buscan obtener otras 2 realizaciones de esta, para lo cual se plantea la realización Controlable y la realización Modal

* Realización controlable
* Realización modal

Para así realizar un análisis de estabilidad, tanto interno como externo

Para la estabilidad externa se tomó la función de transferencia, y al analizar sus polos se observó que estos se encontraban en el semiplano izquierdo, estando estos polos ubicados exactamente en −2.1999x y −13.9271 con lo que se concluye que el sistema es estable

Para la estabilidad interna se buscó encontrar los valores propios de la matriz A del sistema, siendo estos eigenvalores −2.1999x y −13.9271, lo cual concuerda con la posición de los polos de la función de transferencia, por lo cual el sistema tanto interna como externamente es estable

Luego de tratar el tema de la estabilidad se busca analizar la controlabilidad del sistema. Para esto se revisa la matriz y si esta es de rango pleno el sistema es controlable. Los valores de la matriz de controlabilidad para el sistema son

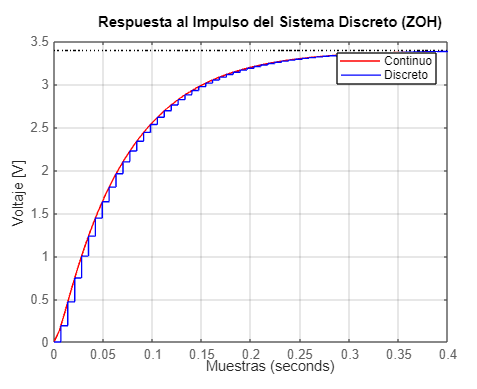
Y al determinar que las dos columnas son linealmente independientes, es decir, el rango de la matriz es 2, se dice que tenemos una matriz de rango pleno y por ende es controlable

**4. Comparación datos tomados por la planta RLC vs Respuesta del modelo**

Dado que la planta es un sistema discreto, se procede a discretizar la función de transferencia y obtener la respuesta a la entrada de 4V

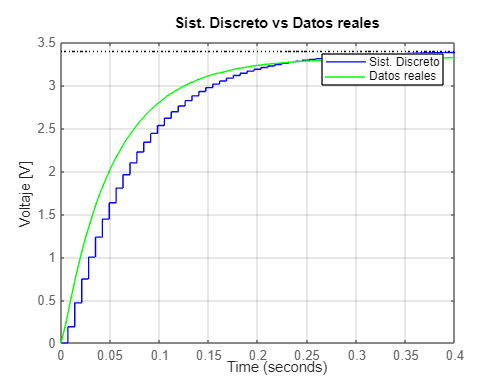
Para adaptar el sistema al dominio digital, se implementa un proceso de discretización. Se selecciona un intervalo de muestreo de 7 milisegundos (Ts = 7ms) para este procedimiento. Se selecciona este periodo de muestreo para capturar los cambios relativamente rápidos de la señal

El período elegido también proporciona un margen de seguridad respecto al teorema de Nyquist. Este margen es crucial para prevenir el fenómeno de aliasing, que podría distorsionar la representación digital de la señal.



**Figura 3. Respuesta planta discretizada a entrada**

Luego de tomar los datos en la planta RLC, dando un voltaje de entrada de 4V se procedió a graficar estos datos contra los obtenidos mediante la simulación del modelo obtenido



**Figura 4. Datos reales vs simulados**

La comparación entre el modelo discreto y los datos obtenidos de la planta física revela una gran similitud, lo que valida la precisión del modelo discreto. Este hallazgo respalda la efectividad del enfoque de modelado fenomenológico utilizado en este estudio, ya que tanto el tiempo de estabilización como el valor final son prácticamente idénticos en ambos casos.

Es notable la presencia de saltos evidentes entre las muestras cuantizadas. Este fenómeno se atribuye a la naturaleza altamente dinámica de la planta en cuestión, a pesar de haber seleccionado un período de muestreo relativamente corto. Aunque el intervalo de muestreo elegido (Ts) cumple su objetivo principal de crear una representación discreta precisa del comportamiento real del sistema, estos saltos entre muestras son visibles.

Sin embargo, es importante destacar que esta característica no representa un obstáculo significativo para el diseño y la implementación del control del sistema. La discretización lograda captura adecuadamente la esencia del comportamiento dinámico de la planta, proporcionando una base sólida para el desarrollo de estrategias de control efectivas.

**5. Creación del controlador por pre compensación y retro de estado**

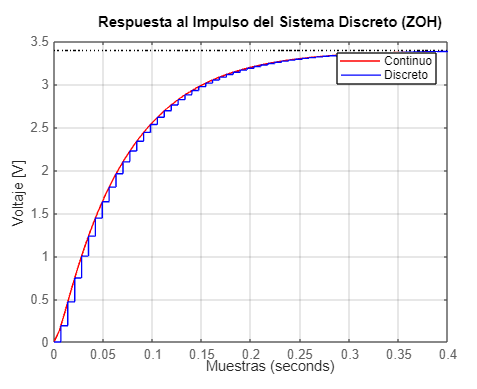
En el diseño del controlador por retroalimentación de estados, se emplea el método de asignación de polos para modificar el tiempo de estabilización y el sobrepaso (overshoot) del sistema. Las ecuaciones fundamentales para este proceso son:

Se establecen objetivos de diseño específicos: un sobrepaso del 15% y un tiempo de estabilización de 0.2 segundos. Estos parámetros permiten derivar un polinomio de segundo orden que representa la dinámica deseada del sistema.

El proceso de diseño implica igualar este polinomio deseado (con sus polos discretizados) a la ecuación característica del sistema discreto actual. Mediante la introducción de parámetros variables ki, se determinan las ganancias necesarias para cada estado del sistema.

Para este ejemplo, se considera una entrada al sistema de 3V.

Un aspecto crucial a considerar es el esfuerzo de control requerido. Dado que el Convertidor Digital-Analógico (DAC) tiene una limitación teórica de salida máxima de 5V, es imperativo evaluar si el control diseñado se mantiene dentro de este límite. Si el controlador demanda un voltaje superior a 5V, su implementación práctica sería inviable en el sistema físico.



Las figuras deben estar incluidas en el texto y centradas. Si el tamaño lo requiere, pueden estar a simple columna, a lo ancho de toda la página. En este caso, preferentemente se situarán al principio o al final de la página. Las figuras se deben separar al menos 1,5 cm. (3 líneas sencillas aprox.) del texto superior e inferior. Similar condiciones se establecen para las tablas. El título de las figuras o tablas debe estar centrado, negrita, Times-10.

No numerar las páginas, ni poner cabeceras o pies de página, excepto las notas a pié de página propias del artículo. Sin embargo, no debe abusarse de las notas a pié de página. El estilo de las mismas es Times 9pt., cursiva.



Figura 1. Ejemplo de Figura

Es importante reservar una zona al pié de la primera columna (ver ejemplo) para insertar los datos de la edición del artículo, que serán indicados a los autores en cuanto se remita y acepte el artículo formateado. Estos datos se incluirán, como en el ejemplo, en Times-8, cursiva.

Para cualquier duda con el estilo, consultar al editor ([raepia@dsic.upv.es)](mailto:raepia@dsic.upv.es)).

3. Información para Autores

En esta sección se da diversa información sobre las aportaciones a remitir a la revista.

3.1. Tipos de Aportaciones

La revista "Inteligencia Artificial" publica colaboraciones, monografías, artículos científico-técnicos (investigación básica, aplicada, de desarrollo de aplicaciones o proyectos, etc.), o resúmenes en el área de la Inteligencia Artificial.

3.1.1. Colaboraciones

'Inteligencia Artificial' publica colaboraciones relativas a noticias, actividades e información de grupos de investigación, calls for papers, celebración de congresos o seminarios, resúmenes de tesis doctorales, referencias bibliográficas o de productos, informes, resúmenes, etc., que le sean remitidas. Para ello, es preferible un medio electrónico, mediante e-mail a [raepia@dsic.upv.es](mailto:(raepia@dsic.upv.es), o en su defecto, pueden dirigirse por escrito al editor.

El formato es libre, aunque es preferible un formato editable WORD, RTF o ascii. Posteriormente, la colaboración será formateada según el estilo de la revista.

3.1.2. Monografías

Las monografías corresponden a un conjunto de artículos sobre un área específica de la IA, cada uno de los mismos realizado por autores diferentes. Estos artículos deberán cubrir un amplio espectro del área tratada.

Las solicitudes para coordinar la edición de un monográfico especial sobre un tema determinado deben dirigirse al editor de la revista indicando el tema del monográfico. El coordinador de la monografía se encargará de la petición y selección de los artículos correspondientes a la monografía.

3.1.3. Artículos Científico-Técnicos

La revista publicará artículos científico-técnicos de un alto nivel de calidad, garantizado tras el correspondiente proceso de revisión. En este proceso de revisión se primará la originalidad, significancia, interés y calidad de la aportación.

La publicación de artículos científico-técnicos se efectuará tanto en la edición en papel con en la edición de la revista en formato electrónico (libre acceso por internet). Los ficheros disponibles por internet serán ficheros no editables. Por ello, los autores expresamente aceptan la cesión de los derechos de publicación a favor de AEPIA.

Las temáticas de publicación son todas las áreas de la Inteligencia Artificial, por ejemplo:

* Algoritmos Genéticos
* Aplicaciones de la Inteligencia Artificial. Diseño de Evaluación de Aplicaciones
* Aprendizaje Automático
* Arquitecturas de Sistemas Inteligentes. Entornos y Herramientas de IA.
* Búsqueda. Heurística.
* Ingeniería del Conocimiento (Adquisición, Representación, Reutilización y Compartición de Conocimientos)
* Inteligencia Artificial Distribuida y Sistemas Multiagente
* Inteligencia Artificial en Tiempo Real
* Modelos Computacionales y Lógicos para la Resolución de Problemas
* Planificación y Scheduling
* Procesamiento de Lenguaje Natural. Traducción Automática
* Razonamiento Temporal, Espacial, Causal, Cualitativo, Basado en Modelos
* Razonamiento Impreciso e Incierto
* Reconocimiento del Habla
* Redes Neuronales
* Revisión de Creencias y Razonamiento no monótono
* Robótica
* Satisfacción de Restricciones
* Sistemas Inteligentes para la Enseñanza y Aprendizaje
* Visión Artificial. Reconocimiento y Procesado de Imágenes),
* Etc.,

tanto desde aspectos básicos como aplicados.

No existen restricciones sobre el idioma aunque, por su ámbito de publicación, es preferible el castellano. En la remisión puede utilizarse el color, pero debe tenerse en cuenta que la publicación en papel será monocroma. Igualmente, no debería abusarse en los textos en negrita dentro del texto general del artículo.

Las aportaciones deben ser originales y no deben haber sido publicadas previamente ni estar sujetas a revisión en otra publicación. Sin embargo, pueden publicarse revisiones de aportaciones previamente presentadas en congresos o workshops de ámbito restringido.

Como norma muy general, los artículos deben tener tres partes fundamentales:

1. Introducción al tema tratado, donde se contrasten diversas aportaciones previas en el área, se cite la bibliografía relevante y se enmarque, justifique e identifique la aportación que se presenta,
2. Presentar claramente la aportación, justificando suficientemente cada nuevo aspecto que se introduzca, ilustrándola con los ejemplos adecuados y, en su caso, con los resultados experimentales correspondientes
3. Resumir los aspectos tratados e identificar las líneas futuras o aspectos pendientes en el área.

En cualquier caso, se ruega siempre la mayor concreción y claridad de exposición.

3.1.4. Resúmenes, Recopilatorios o Surveys

Como un tipo especial de artículos a publicar en la revista se sitúan los que tratan la descripción general de una temática o técnica específica de IA (surveys), sin una aportación específica al área. Este tipo de aportación deberá quedar claramente identificada tanto en el resumen del artículo, como en la propia introducción del mismo. Los pasos para la remisión y publicación de estos surveys son exactamente los mismos que para los artículos científico-técnicos. Sin embargo, el proceso de revisión considerará fundamentalmente la corrección y claridad de la presentación.

3.2. Envío de Artículos

Los pasos para la publicación de un artículo científico-técnico son:

1. Rellenar y enviar el formulario correspondiente, donde se indique el título, autores, área temática, etc. Es necesario rellenar TODOS los campos marcados con \*.
2. Remitir el fichero que contiene el artículo mediante mail-attachment al editor en formato PDF o PostScript. Solo el envío de un fichero comprimido y que el tamaño no exceda 1 Mb. No remitir copias por escrito. Una vez recibido se remitirá por parte de la revista un reconocimiento de la recepción. Si no fuera así, contactar con el editor.
3. Revisión del artículo. Normalmente esto llevará de 5 a 9 semanas. El resultado de la revisión puede ser: (i) aceptar, (ii) aceptar con pocas correcciones y sin posterior revisión, (iii) sugerir revisiones sustanciales con posterior revisión, y (iv) rechazar. Los casos (i y ii) suponen pasar al paso 4 y el caso (iii) supone volver al paso 2.
4. Una vez un artículo sea aceptado, deberá ser formateado por el autor según el estilo definido en la revista (ver [Página de Estilo](http://aepia.dsic.upv.es/revista/estilo.html)) y enviado al editor), para la revisión/aceptación del formato. Se debe respetar al máximo el estilo indicado. El fichero que se remita del artículo formateado debe ser únicamente formato PostScript o PDF (ambos no editables), de forma que no se efectuará ningún proceso de formateado en la revista.
5. Una vez que sea aceptado el formato del artículo, el editor enviará al autor los datos finales de edición (nº en el cual se publicará, año y páginas correspondientes). Estos datos deberán ser incluidos por el autor como pié de página solo en la primera página del artículo (Times, 8pt., Negrita, Cursiva, Alineación Izquierda), según el ejemplo contenido en estas hojas.
6. Una vez incluidos los datos de edición, el autor deberá remitir dos ficheros mediante mail-attachment al editor El primero de ellos contendrá la versión final completa del artículo (en formato PostScript o PDF, o ambos), el segundo fichero contendrá, en texto ascii, únicamente un resumen del mismo (el resumen contenido en el artículo). Con ello se finalizará el proceso de publicación, tanto en la versión de papel, como en la versión electrónica.
7. La publicación electrónica del artículo en formato PostScript o PDF, o ambos será inmediata en las páginas electrónicas de la revista. La publicación del artículo en la versión en papel se producirá en el número indicado en los datos de edición anteriores. El artículo no deberá ser publicado por ninguna otra publicación. El primer autor del artículo recibirá una copia de la revista en papel sin ningún coste. Para ejemplares adicionales, dirigirse al editor. Adicionalmente, se sugiere que los autores incluyan un enlace a la publicación electrónica del artículo residente en las páginas de la revista en sus propias páginas.

En todo este proceso, se asume que el autor acepta implícitamente la publicación, tanto en papel como electrónicamente (a través de libre acceso por internet), del artículo enviado, debe transferir todos los derechos necesarios, a la revista editora.

Agradecimientos

Los Alumnos de la asignatura: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ del II-2005, desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Pamplona por todo el apoyo recibido durante el desarrollo del curso....

Referencias

La referencias deben ser claras y completas, prefiriéndose material público y fácilmente accesible [Martínez00]. Como ejemplos (no excluyentes) de referencia bibliográfica:

[Martínez00] J. Martinez, L. Pérez. 'Instrucciones de Estilo para los Autores'. Inteligencia Artificial, 20. pp. 30-54. Ed. AEPIA. (2000).

[Martínez et al. 00] J. Martinez, L. Pérez. 'Instrucciones de Estilo para los Autores'. Inteligencia Artificial, 20. pp. 30-54. Ed. AEPIA. (2000).

Igualmente deben indicar las páginas Internet que fueron consultadas.

[www.ifac.com](http://www.ifac.com)

[www.isa.com](http://www.isa.com)