

# Laboratorio 1 - Control Automático II - Ing. Electrónica

Ignacio Nahuel Chantiri 69869/1  
Thomas Jorge Sille 68373/6  
Universidad Nacional De La Plata, Argentina.

**Resumen**—Estas instrucciones son una guía básica para la preparación de un informe y un ejemplo de formato predefinido que puede ser usado como plantilla.

El Resumen debe enunciar concisamente qué fue hecho, cómo fue hecho, resultados principales, y su trascendencia. No debe contener ecuaciones, figuras, tablas, o referencias.

## I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio se centra en la implementación de la técnica de control por realimentación de estados.

## II. MARCO TEÓRICO

**II-A. Identificación de Bloques y sus funciones de transferencia.**

Se presenta a continuación el circuito con los distintos bloques identificados.

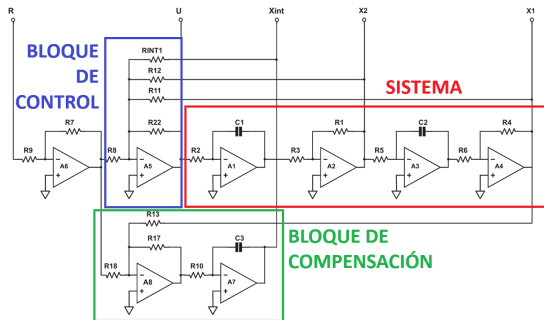


Fig. 1. Diagrama del circuito con los distintos bloques identificados

- **Sistema:** Compuesto por dos integradores. Para compensar la inversión asociada a la etapa de integración, se utilizan también dos inversores, uno a la salida de cada integrador. Tiene como entrada  $U$ , y  $X_1$  como salida.

$$\begin{cases} X_2 = \frac{U}{C_1 R_2 s} \\ X_1 = \frac{U}{(C_1 R_2 s)(C_2 R_5 s)} \end{cases}$$

Se obtiene:

$$\frac{X_1}{U} = \frac{1}{(C_1 R_2)(C_2 R_5)s^2} \quad (1)$$

Reemplazando por los valores reales, y teniendo en cuenta que  $R_2 C_1 = R_5 C_2$ :

$$\frac{X_1}{U} = \frac{10,000}{s^2} \quad [seg^2] \quad (2)$$

- **Bloque de control:** Lo compone un sumador con una ganancia distinta para cada valor de entrada. Su salida es  $U$ , y sus entradas,  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_{int}$

$$U = R - \frac{R_{22}}{R_{int}} X_{int} - \frac{R_{22}}{R_{12}} X_2 - \frac{R_{22}}{R_{11}} X_1 \quad (3)$$

Expresado de este modo, quedan en evidencia las 3 distintas transferencias del bloque, dependiendo de cada entrada.

- **Bloque de compensación:** El bloque resta el valor de referencia  $-R$  con la salida  $X_1$ , y luego integra esta diferencia o error. Su salida es  $X_{int}$ .

$$X_{int} = \frac{-(R - X_1)}{s R_{10} C_3} \quad (4)$$

**II-B. Bloques y sus sistemas de variables de estado**

El sistema representado por sus variables de estado  $x = (x_1, x_2)$ , se halla expresado en la forma:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + BU \\ y &= Cx + DU \end{aligned}$$

Para el bloque *Sistema*, las matrices correspondientes son:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_5 C_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{R_2 C_1} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = 0$$

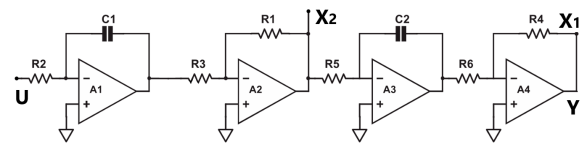


Fig. 2. Diagrama del bloque Sistema

Para el bloque de *Compensación*, teniendo en cuenta que el bloque inversor tiene ganancia 1, obtenemos un sistema de una sola variable de estado,  $X_{int}$ . Para un entendimiento más claro, se decidió representar el sistema no en forma matricial, sino como ecuación diferencial:

$$\frac{dX_{int}}{dt} = \frac{R}{R_{10} C_3} - \frac{Y}{R_{10} C_3} \quad (5)$$

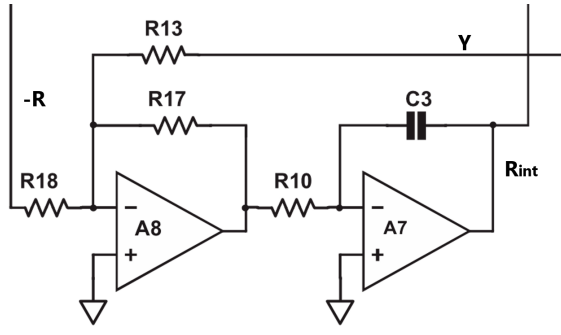


Fig. 3. Diagrama del bloque de compensación de error

### II-C. Análisis de Controlabilidad

Previamente obtuvimos las matrices A y B:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_5 C_2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{R_2 C_1} \end{bmatrix},$$

Llevándolas a la Forma Canónica Controlable mediante el cambio de variables  $x_1 = x_1 R_5 C_2$ ,  $x_2 = x_2 R_5 C_5$ , resulta:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad A], \quad D = 0$$

Se evidencia ahora la controlabilidad del sistema, pues las ecuaciones de estado son:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= U \end{aligned}$$

Donde la entrada  $U$  controla  $\dot{x}_2$ , por lo que controla  $x_2$ . A su vez,  $x_2$  controla  $\dot{x}_1$ , por lo que también controla  $x_1$ . De esta manera, se accede a todas las variables de estado mediante la entrada  $U$ , lo que demuestra la controlabilidad del sistema.

### II-D. Análisis de Observabilidad

Podemos obtener la Forma Canónica Observable partiendo de la forma Canónica Controlable, sabiendo que

$$\begin{aligned} A_c^T &= A_o \\ B_c^T &= C_o \end{aligned}$$

Donde el subíndice  $c$  indica forma controlable y  $o$  forma observable. De esta forma obtenemos  $A_o$  y  $C_o$ , presentados a continuación:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1]$$

Y las ecuaciones de estado son:

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= x_1 \\ y &= x_2 \end{aligned}$$

El análisis de observabilidad es análogo, mediante Y. La salida Y es observable, por lo que  $x_2$  es observable. Al ser  $x_2$  conocida, también lo es  $\dot{x}_2$ . Finalmente, a través de  $\dot{x}_2$  observamos  $x_1$ .

### II-E. Ejemplo del uso de Referencias

El principio de superposición es válido para cualquier red resistiva lineal [7]. Si hay  $N$  fuentes independientes debemos efectuar  $N$  experimentos, cada uno con sólo una de las fuentes independientes activas y las otras inactivas.

## III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presentar y describir aquí los resultados obtenidos a partir del experimento. Analizarlos y contrastar a partir del marco teórico. Comparar resultados y determinar la magnitud de los errores y sus posibles causas, sacar conclusiones al respecto, etc. Usar gráficos y/o tablas dependiendo del tipo de resultado que se quiere mostrar y referenciarlas.

Propiedad	Valor
Corriente [A]	4.9
Tensión [V]	218

TABLA I. Descripción de la Tabla

En el texto principal se hará referencia a cada una de las tablas explicando su contenido. La Tabla I muestra un ejemplo de tabla simple generada en LaTeX, en tanto la Tabla II es un ejemplo más complejo que une celdas de varias filas y columnas.

Datos		
Propiedad		Valor
$t_1$	Corriente	5.3 A
	Tensión	220 V
$t_2$	Corriente	4.9 A
	Tensión	218 V

TABLA II. Valores observados de corriente y voltaje en distintos instantes de tiempo  $t_i$ .



Fig. 4. Magnetización como función del campo aplicado. Note que la leyenda de la figura está centrada en la columna.

Como ejemplo de formato para las figuras podemos ver la Fig.4 en donde se observa el valor de magnetización en función del campo magnético aplicado. Los puntos representan los valores obtenidos experimentalmente en tanto que la línea continua se corresponde con el ajuste realizado para tal conjunto de puntos.

## V. CONCLUSIONES

Dependiendo de las características del trabajo, de los datos analizados o del sistema estudiado las discusiones pueden presentarse en una sección final o incluirse en la presentación de los resultados. No es una sección estrictamente requerida. Aunque puede ser útil como un repaso de los puntos más importantes del trabajo, no debe ser una replica del Resumen. Debe elaborarse para destacar la importancia del trabajo realizado presentado, para sugerir cambios, mejoras, aplicaciones o extensiones futuras.

## APÉNDICE

### A. ALGUNAS CONVENCIONES SOBRE FORMATO

En esta sección se describen en más detalle algunas convenciones sobre el formato del informe en general.

#### A.1 Lenguaje

Es sumamente importante entender que un trabajo científico o un informe técnico debe tener un tenor objetivo y formal, por lo tanto se recomienda evitar apreciaciones subjetivas y expresiones coloquiales en el mismo. Tenga en cuenta que el sentido de ciertas palabras o expresiones en el lenguaje coloquial puede ser completamente distinto al que tiene en el lenguaje técnico.

Preste atención a la redacción del texto; no es sólo una cuestión de formalidad del lenguaje, sino fundamentalmente de presentar un trabajo que sea claro y entendible, sin renunciar a la rigurosidad de lo que se expone. En este sentido, es fundamental una gramática correcta. Así mismo, los errores ortográficos restan claridad y seriedad a cualquier trabajo. La omisión del acento escrito o la mala utilización de los mismos es un error ortográfico grave. Revise y corrija su trabajo antes de presentarlo.

#### A.2 Ecuaciones

Las ecuaciones deben ser tratadas como parte de una oración (estando o no en línea), es decir, deben estar seguidas de punto, coma, etc, como en

$$a + b = c. \quad (6)$$

Para los símbolos, utilice Itálicas. Todas las variables y parámetros involucrados en la ecuación deben estar definidos en el texto antes de que la misma sea presentada o inmediatamente después. Enumere las ecuaciones consecutivamente con el número de ecuación entre paréntesis al mismo nivel en el margen derecho, como en la Ec. (1). La ecuación se referencia en el texto como Ec. (1), Ecs. (1) y (2), etc., excepto en el comienzo de una oración: “La ecuación (1) es...”, “...como se desprende de la Ec. (1).”

### A.3 Figuras y Tablas

A diferencia de las ecuaciones, las figuras y tablas no se consideran parte del texto. Pueden flotar sobre el texto y ser acomodadas donde mejor queden después de que son referenciadas en el texto. La forma de referenciarlas es escribiendo Fig. 1, Figs. 1, Fig. 1 (a) o Tabla I, según sea el caso. Todas las figuras y tablas deben estar referenciadas en el texto en donde se hará una discusión de lo que se esquematiza en las mismas o los resultados que se presentan.

Deben tener una resolución ‘aceptable’ como para poder apreciarse lo que se quiere mostrar. En el caso de gráficos, los ejes deben estar claramente identificados con sus correspondientes unidades; los caracteres, tanto letras como números, deben ser legibles (considere alrededor de un tamaño 10). Para cada figura/subfigura o tabla se incluirá debajo de la misma una leyenda clara, concisa y autoexplicativa de lo que se está mostrando. Las figuras y tablas grandes pueden expandirse abarcando ambas columnas.

Las etiquetas de los ejes de las figuras son frecuentemente una fuente de confusión. Use palabras en vez de símbolos. Por ejemplo, escriba “Magnetización.” “Magnetización (M)” no sólo “M”. Ponga las unidades en paréntesis. No etiquete los ejes solo con las unidades. En el ejemplo, se escribió “Magnetización (A/m).” “Magnetización (A·m<sup>-1</sup>)”.

## B. OTRAS RECOMENDACIONES

### B.1 Unidades

Al trabajar con modelos que describen una situación real (no son sólo un problema matemático) se deben incluir las unidades de las magnitudes. Enuncie claramente las unidades para cada cantidad que use en una ecuación, tablas, figuras, etc. Las unidades SI (MKS) son las recomendadas.

Evite combinar unidades de sistemas distintos. Esto frecuentemente lleva a confusión a causa de que la ecuación no está balanceada en sus magnitudes.

### B.2 Abreviaciones y Acrónimos

Defina las abreviaciones y acrónimos en la primera vez que son usados en el texto, incluso si ellos han sido definidos en el abstract, por ejemplo “Un circuito con resistores, inductores y capacitores (RLC)...”; una vez definida podrá usar las siglas en el resto. Abreviaciones comúnmente usadas tales como IEEE, SI, MKS, CGS, no tienen que ser definidas. No use abreviaciones en el título a menos que sea inevitable.

## REFERENCES

- [1] G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955.
- [2] J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [3] I.S. Jacobs and C.P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.
- [4] K. Elissa, “Title of paper if known,” no publicado.
- [5] R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, en prensa.
- [6] Argosy Medical Animation. (2007-2009). *Visible body: Discover human anatomy*. New York, EU.: Argosy Publishing. <http://www.visiblebody.com> (visitado el día 5/5/2019)

- [7] William H. Hayt, Jack E. Kemmerly, Steven M. Durbin. "Análisis de Circuitos en Ingeniería", Mc Graw Hill, 7° (2007) u 8° (2012) ed.