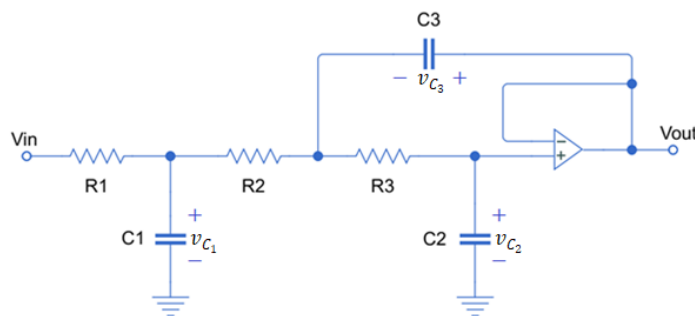


## Lab 7: Regulador Lineal Cuadrático; Observadores de Estado

### Objetivos

- Utilizar el Regulador Lineal Cuadrático (LQR) para diseñar un controlador para el circuito trabajado en laboratorios anteriores.
- Diseñar, simular e implementar observadores de estado para realizar control.
- Comparar con lo realizado en el laboratorio 6.

**Duración:** 2 sesiones



**Figura 1.** Circuito a trabajar.

En el laboratorio 6 usaron el método de “*Pole Placement*” para encontrar matrices (vectores) **K** correspondientes a la ley de control lineal. En esta práctica usarán el **Regulador Lineal Cuadrático (LQR)** para diseñar el controlador, y compararán el resultado con lo obtenido anteriormente.

Para algunos sistemas, como el circuito que hemos estado trabajando (Figura 1), es posible medir las variables de estado directamente y usarlas para realizar el control. Sin embargo, muchas veces eso no es posible. Lo común es tener acceso a la salida del sistema (y a la referencia). Mediante **observadores** podemos estimar las variables de estado a partir de la salida y la referencia, y luego podemos usar las estimaciones para realizar el control.

En este laboratorio también diseñarán, simularán e implementarán observadores, para realizar el control lineal del circuito.

Como antes, usarán:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_3 = 10 \text{ }\mu\text{F}$ . Y la **referencia nuevamente será una señal cuadrada de entre 1 y 2 V, a una frecuencia de 0.667 Hz. Para las simulaciones, la señal debe tener dos períodos, iniciando en 1, no en 2.**

Apóyense en el material de teoría de las semanas 8 – 10.

### **Primera Parte: Control por Retroalimentación de Estado usando LQR**

1. En Matlab, encuentren un vector **K** “óptimo”. **Ayuda:** usen la función **lqr**. Prueben inicialmente matrices/escalares identidad para **Q** y **R**. Simulen el sistema controlado usando el archivo de Simulink que crearon para el inciso 10 de la Segunda Parte del laboratorio 6 (bloques). En un bloque **Scope**, **observen tanto la referencia como la salida**.
2. Repitan el inciso 1, probando otras matrices/escalares **Q** y **R**. **Sugerencia:** reemplacen uno o varios de los valores unitarios por 0.01, 0.1, 10 y/o algún otro valor, para ver cómo cambia la respuesta del sistema controlado. Traten de encontrar **Q** y **R** y el respectivo vector **K** tal que la respuesta sea lo más parecida a la encontrada en el laboratorio 6 (con *overshoot*). **Únicamente deberán reportar el mejor caso (Q, R y K) y la correspondiente gráfica.**
3. Agreguen la **K** encontrada en el inciso anterior como caso adicional a su programa de la Tiva C del lab 6. **Observen en el osciloscopio tanto la referencia como la salida controlada del circuito físico.** Como en el laboratorio 6, ajusten la escala temporal para mostrar **dos períodos de la señal cuadrada**.  
**Ayuda:** el programa de la Tiva C es el mismo. Lo único que cambia son los valores del vector **K** y el factor de escala ( $N_{bar}$ ).

### **Segunda Parte: Diseño y Simulación de Observadores usando Pole Placement**

En esta parte usarán Matlab para encontrar vectores **L** y **K** que permitan la observación y el control lineal adecuado. Simularán el sistema controlado en Simulink, tanto con bloques como con los componentes de Simscape del circuito. Como siempre, se sugiere crear scripts de Matlab.

1. Usen las matrices **A**, **B** y **C** del laboratorio 6 (**A3**, **B3** y **C3** del laboratorio 3).
2. Verifiquen la **observabilidad** del sistema.
3. Usen *Pole Placement* para encontrar los vectores **K** y **L**. Para **K**, usen el conjunto de polos usados en el laboratorio 6 (inciso 2.3). Para **L**, tomen en cuenta que los polos deben ser “más agresivos” que los de **K**. Como en el lab 6, pueden usar la función **place**.
4. En Simulink, simularán el sistema en lazo cerrado. Usarán bloques de modelo de espacio de estados tanto para la planta como para el observador. Revisen el archivo **IE3041 - Lab 7, Slides.pdf**. De la segunda página se pueden inferir qué deben ser los parámetros (las matrices) del bloque del observador. Si se desea que la salida del bloque observador sean las variables de estado estimadas ( $\hat{x}$ ), ¿qué debe ser la matriz **C**?

**Ayuda 1:** la entrada del bloque observador es el “**u<sub>obs</sub>**” descrito en el .pdf, el cual es un vector columna de dos elementos. El bloque **Mux** de Simulink puede tomar dos o más entradas escalares y sacar una señal vectorial, que a su vez puede ser la entrada de un bloque de espacio de estados. ¿Qué dimensiones debe tener la matriz **D** del bloque observador?

**Ayuda 2:** el bloque *Gain* permite hacer multiplicaciones Matricial-vectoriales. Vaya a las propiedades del bloque y busque la opción de multiplicación **Matrix(K\*u)(u vector)**. Con esto, se puede implementar la multiplicación  $K\hat{x}$  de la ley de control lineal.

**Ayuda 3:** No olviden escalar la señal de referencia.

5. En un *Scope*, **observen tanto la referencia como la salida controlada de la planta**. En otro *Scope*, **observen las variables de estado estimadas**. Comparen las señales con las obtenidas en prácticas anteriores.
6. En Simulink, usen ahora el circuito (componentes de Simscape) para la planta. El observador y el control se mantienen igual (bloques). En un *Scope*, **observen tanto la referencia como la salida controlada de la planta**. En otro *Scope*, **observen las variables de estado estimadas**. En un tercer *Scope*, **observen las variables de estado medidas (voltajes en los capacitores)**. **¿Cómo se comparan las variables de estado estimadas y las medidas directamente?**
7. Repitan los pasos 3 – 6, usando los polos del inciso 2.12 del lab 6 para  $K$ .

### **Tercera Parte: Diseño y Simulación de Observadores usando LQR**

1. En Matlab, encuentren el vector  $L$  “óptimo”, correspondiente a la  $K$  obtenida en el inciso 1 de la Primera Parte (matrices/escalares identidad para  $Q$  y  $R$ ).

**Ayuda:** usen la función `lqr` para encontrar  $L$ , como se muestra en las notas de teoría. Usen también  $R_L = 1$ .

Simulen el sistema controlado usando el archivo de Simulink que crearon para el inciso 4 de la Segunda Parte (bloques). **Observen la referencia y la salida en un *Scope*, y observen las variables de estado estimadas en otro *Scope*.**

2. Repitan el inciso 1, pero usando las matrices/escalares  $Q$  y  $R$  encontradas en el inciso 2 de la Primera Parte (las mejores que encontraron). Para  $R_L$ , el valor de 1 debería funcionar bien. **Reporten las correspondientes gráficas.**

### **Cuarta Parte: Implementación de los Observadores usando la Tiva C**

En esta parte implementarán el observador y el control lineal en un programa para la Tiva C. Esta vez, la implementación es más compleja que la del laboratorio 6, ya que deberán aproximar una integración. Además, deberán implementar multiplicaciones matriciales/vectoriales. Revisen la tercera página del archivo **IE3041 - Lab 7, Slides.pdf**.

Las sumas, restas y amplificaciones del lazo de control se harán nuevamente por *software*, aunque sería posible hacerlas por *hardware*.

El programa debe tener código/variables correspondientes a los casos de la Segunda y Tercera Partes. Pueden comentar/descomentar lo necesario para dejar el caso deseado. También pueden usar directivas del pre-procesador para seleccionar el caso (`#if`, etc.), o cambiar de caso en el modo “Debug” de *Code Composer Studio*.

**Ayuda:** Consideren el seudocódigo siguiente. Su programa debe ser la implementación de este.

```

Inicializaciones y configuraciones
Ciclo (cada vez que vence el temporizador)
    Leer referencia
    Leer salida de la planta
    Calcular la señal de control u
    Actualizar los estimados de las variables de estado
        (usando la señal u sin acotar)
    Acotar y enviar la u acotada al DAC (para la planta)
Fin del ciclo

```

1. **Para cada caso de K y L de la Segunda y Tercera Partes**, conecten al sistema como referencia la señal cuadrada descrita anteriormente (**entre 1 y 2 V, 0.667 Hz**). **Observen en el osciloscopio tanto la referencia como la salida controlada**. Al igual que en la Primera Parte, ajusten la escala temporal para mostrar **dos períodos de la señal cuadrada**.

### **Evaluación:**

Antes de la sesión del laboratorio 8, cada grupo deberá **demostrar el funcionamiento de sus controladores**. Pueden hacer las demostraciones durante las sesiones del laboratorio y/o durante las sesiones de atención a estudiantes.

**Deberán subir a Canvas un reporte (.pdf) y su programa de la Tiva C (.c) de la Cuarta Parte**. Una entrega por grupo. Revisen la fecha límite de entrega en la tarea de Canvas.

El reporte deberá incluir ÚNICAMENTE:

- 1) **Identificación:** sus nombres, carnés, nombre del curso, sección de laboratorio (11, 12 o 21), número y título del laboratorio, fecha.
- 2) **Resultados.** Incluyan los polos y matrices/escalares **Q, R,  $R_L$**  usados, los vectores **K** y **L** encontrados, las imágenes de las simulaciones y de los resultados físicos, y las respuestas a las preguntas planteadas.

**Recuerden organizar los resultados según las partes y los incisos de la guía, como se explicó en la guía del laboratorio 1. Asegúrense de numerar y titular todas las gráficas, figuras, tablas, etc. Asegúrese de incluir todo lo requerido en esta guía. Se verificará que esté todo lo indicado en color azul.**

Asistencia, trabajo en el lab y demostraciones:	50%
Reporte (.pdf):	40%
Código (.c):	10%