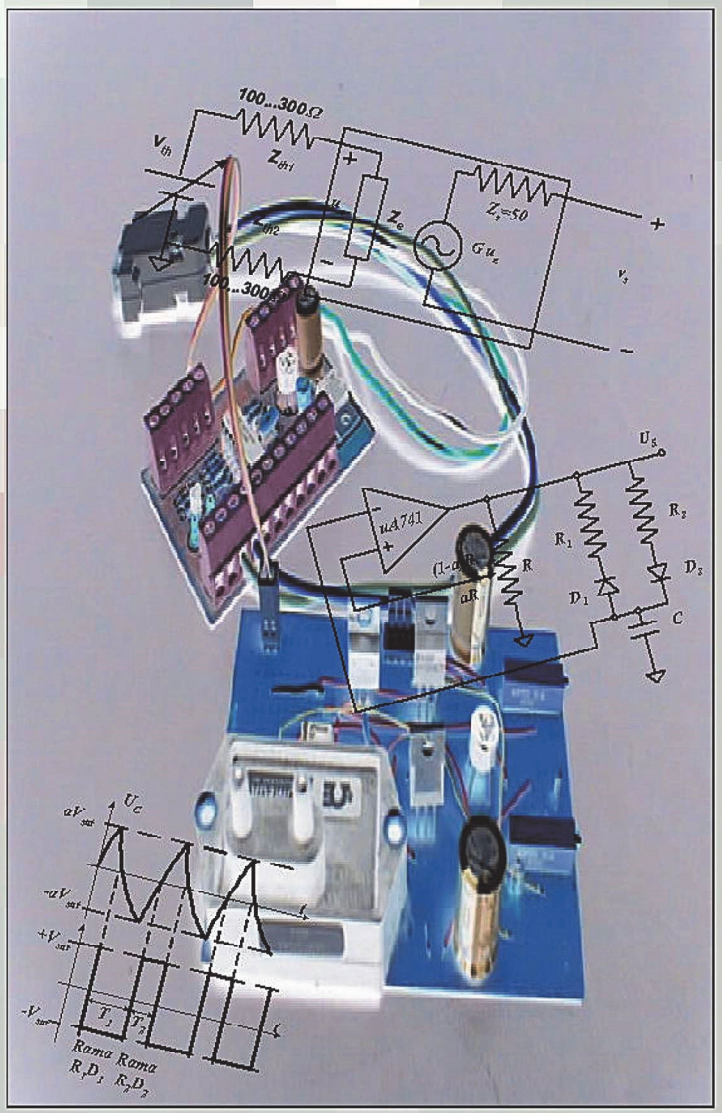
PROBLEMAS RESUELTOS DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA



Beatriz Trénor Gomis
Salvador Orts Grau
Arturo Gil Gil
Con la colaboración de Juan José Hernández Leal

EDITORIAL
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Beatriz Trénor Gomis
Salvador Orts Grau
Arturo Gil Gil

Con la colaboración de Juan José Hernández Leal

Problemas resueltos de electrónica analógica

Editorial
Universitat Politècnica
de València

Colección Académica

© Beatriz Trénor Gomis
Salvador Orts Grau
Arturo Gil Gil
Juan José Hernández Leal (Colaborador)

© 2002, Editorial Universitat Politècnica de València
Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.: 6608_01_01_01

ISBN: 978-84-9705-241-2 (versión impresa)

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

RESUMEN

Este libro contiene 9 colecciones de problemas resueltos de Electrónica Analógica, correspondientes a 9 temas distintos de este campo de la electrónica. Asimismo, contiene las hojas de catálogo de los dispositivos cuyas características son necesarias para la resolución de los problemas.

Los problemas han sido propuestos y resueltos por los profesores de la asignatura de Electrónica Analógica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia, con el fin de que los alumnos asimilen los conceptos vistos en el curso de esta asignatura y entiendan su aplicación. .

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRÓLOGO 5

TEMA 1. ***ESTUDIO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS*** 9

PROBLEMA 1. 11

PROBLEMA 2. 15

PROBLEMA 3. 19

PROBLEMA 4. 23

PROBLEMA 5. 26

PROBLEMA 6. 31

PROBLEMA 7. 35

TEMA 2. ***CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE PROCESADO ANALÓGICO*** 39

PROBLEMA 1. 41

PROBLEMA 2. 45

PROBLEMA 3. 49

PROBLEMA 4. 56

PROBLEMA 5. 57

PROBLEMA 6. 59

PROBLEMA 7. 61

PROBLEMA 8. 64

PROBLEMA 9. 66

TEMA 3. ***BLOQUES FUNCIONALES*** 69

PROBLEMA 1. 71

PROBLEMA 2. 75

PROBLEMA 3. 76

PROBLEMA 4. 79

PROBLEMA 5. 81

TEMA 4. ***EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL*** 85

PROBLEMA 1. 87

PROBLEMA 2. 89
PROBLEMA 3. 91
PROBLEMA 4. 93
PROBLEMA 5. 95
PROBLEMA 6. 97

TEMA 5. ***AMPLIFICADORES CON AO*** 99
PROBLEMA 1. 101
PROBLEMA 2. 105
PROBLEMA 3. 109
PROBLEMA 4. 112
PROBLEMA 5. 114
PROBLEMA 6. 119

TEMA 6. ***CONVERTIDORES I/U Y U/I CON AO*** 121
PROBLEMA 1. 123
PROBLEMA 2. 127
PROBLEMA 3. 130
PROBLEMA 4. 132
PROBLEMA 5. 134
PROBLEMA 6. 135
PROBLEMA 7. 137

TEMA 7. OTRAS ***FUNCIONES LINEALES CON AO*** 139
PROBLEMA 1. 141
PROBLEMA 2. 143
PROBLEMA 3. 144
PROBLEMA 4. 146
PROBLEMA 5. 148
PROBLEMA 6. 150
PROBLEMA 7. 152
PROBLEMA 8. 155

PROBLEMA 9. 158
PROBLEMA 10. 161
PROBLEMA 11. 163

TEMA 8. ***FUNCIONES NO LINEALES CON AO*** 167
PROBLEMA 1. 169
PROBLEMA 2. 172
PROBLEMA 3. 174
PROBLEMA 4. 178
PROBLEMA 5. 181
PROBLEMA 6. 185
PROBLEMA 7. 187

TEMA 9. ***EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL Y CÁLCULO DE ERRORES*** 191
PROBLEMA 1. 193
PROBLEMA 2. 197
PROBLEMA 3. 200
PROBLEMA 4. 202
PROBLEMA 5. 208
PROBLEMA 6. 214
PROBLEMA 7. 218

ANEXO. ***HOJAS DE DATOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES*** 221
Amplificador Operacional uA741 223
Amplificador Operacional TL081 232

BIBLIOGRAFÍA 241

PRÓLOGO

PRESENTACIÓN

Este libro contiene 9 colecciones de problemas resueltos de Electrónica Analógica, correspondientes a 9 temas distintos de este campo de la electrónica. Asimismo, contiene las hojas de catálogo de los dispositivos cuyas características son necesarias para la resolución de los problemas.

Los problemas han sido propuestos y resueltos por los profesores de la asignatura de Electrónica Analógica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia, con el fin de que los alumnos asimilen los conceptos vistos en el curso de esta asignatura y entiendan su aplicación.

JUSTIFICACIÓN

En el planteamiento de los problemas, se han perseguido tres **objetivos principales**, que consideramos alcanzables por los alumnos durante la resolución de éstos.

1º objetivo: que el alumno **afiance los conceptos teóricos** adquiridos durante las clases de teoría. Para ello, los conceptos planteados en esta colección de problemas corresponden plenamente con aquéllos. Antes de resolver los problemas, se aconseja al alumno que consulte la bibliografía asociada al curso de teoría [1].

La **motivación** del alumno facilita la asimilación de conceptos teóricos durante la resolución de problemas. Por ello, durante las clases de teoría se exponen cálulos y análisis de circuitos que el alumno tiene la oportunidad de revisar y aplicar durante la resolución de problemas. Además, también los puede ver y comprobar físicamente durante las sesiones prácticas, lo cual creemos que le produce cierta satisfacción. No sólo asimila mejor el concepto, sino que también ve la utilidad de los análisis teóricos que ayudan a la comprensión de los resultados experimentales.

2º objetivo: que el alumno adquiera **habilidades de análisis** de circuitos electrónicos, lo cual se consigue con la práctica. Por ello, se proponen en este libro numerosos ejemplos. Para un mejor aprovechamiento, se recomienda al alumno que intente resolver los problemas sin mirar la solución, y que ésta únicamente sirva para la comprobación y para aprender de los errores.

3º objetivo: que el alumno aprenda a **documentar resultados**.

Con el fin de lograr este objetivo, en cada una de las soluciones de los problemas, se ha seguido un **método de resolución** concreto, basado en los siguientes puntos:

- **Método y orden:** Se pretende que el alumno aprenda a resolver circuitos y problemas de electrónica analógica de manera metódica. Por ello, en las soluciones, impera el orden, la estructura y el método de resolución. Así, si el alumno se basa en las soluciones leídas con atención, será capaz de darle importancia al método a la hora de resolver otro problema similar. En efecto, cuando los problemas son complejos y difíciles de abordar, el seguir un método bien definido puede ayudar notablemente.

- **Redacción.** La capacidad de redactar y documentar con propiedad resultados científicos es muy valorada. Para la comprensión de una solución o de un resultado, es de vital importancia no sólo que siga una estructura ordenada sino también que ofrezca claridad a la lectura. Por ello, el alumno debe atribuir importancia a la redacción de los textos científicos.

- **Rigurosidad.** Todo trabajo técnico requiere rigurosidad. Por ejemplo, en toda medida realizada experimentalmente o en todo cálculo teórico se deben especificar las unidades.

ESTRUCTURA

En este apartado se describe la estructura general del manual.

La **estructura** del presente **manual** pretende seguir los pasos de diseño de un sistema de procesado analógico, abarcando de este modo el programa completo de la asignatura de Electrónica Analógica.

La filosofía elegida para esta tarea de diseño ha sido la llamada **filosofía de diseño t*op-down***. Según ésta, el diseño de un sistema analógico comienza por el análisis de los aspectos más generales, para adentrarse poco a poco en el diseño más concreto de cada subsistema. A continuación se explican los pasos concretos a seguir a la hora de realizar un diseño analógico. Realmente, para conocer en profundidad cada una de las fases de diseño y saber justificar el orden de ejecución de éstas, es necesario realizar el diseño de un prototipo real. Sin embargo, mediante la resolución de estos problemas, se ponen en conocimiento del alumno las herramientas necesarias para desarrollar cada una de las fases contempladas en el diseño *top-down,* en concreto, el alumno adquiere las habilidades de análisis necesarias, además de asimilar los conceptos teóricos contemplados en las fases de diseño.

Las fases de diseño según la filosofía *top-down* se muestran en el diagrama de flujo de la fig. 1.

Se observa que según unas necesidades concretas, se establecen las especificaciones de diseño en cuanto a la señal a analizar y al sistema de procesado; este trabajo correspondería con las dos primeras fases de diseño:

- **Fase 1**: el primer paso a realizar es el **análisis de la señal** a procesar. Algunos de los conceptos necesarios para abordar esta fase, están contemplados en la colección de problemas del tema1.
- **Fase 2**: posteriormente es preciso definir las **características** estáticas del **sistema** a diseñar, como la función de transferencia, las impedancias de entrada y salida y las características dinámicas como el ancho de banda y el *slew rate* (tema 2).

Una vez establecidas las características que debe tener el sistema de procesado, se puede iniciar el diseño teórico del mismo, según las siguientes fases:

- **Fase 3**: definición de los **bloques funcionales** necesarios para implementar el sistema y la adaptación de éstos (tema 3).
- **Fase 4**: diseño interno de los bloques a partir de componentes analógicos, principalmente el amplificador operacional (AO). Para ello, se estudian ejemplos de aplicaciones lineales y no lineales de este componente en los temas 4,5, 6, 7 y 8.
- **Fase 5**: Cálculo del consumo total del sistema.
- **Fase 6**: Una vez realizado el diseño completo de cada bloque funcional es necesario realizar el cálculo de errores del sistema teniendo en cuenta que los componentes empleados son reales. El tema 9 analiza algunos de los aspectos reales del AO.

Al finalizar todos cálculos teóricos, se comprueba si el sistema cumple teóricamente las especificaciones planteadas inicialmente. En caso de no cumplirlas, sería necesario volver a realizar un nuevo diseño teórico, y en caso afirmativo, pasaríamos a la siguiente fase.

- **Fase 7**: montaje y test del sistema diseñado.

Si el sistema funciona como se requería, se podría pasar a producir y comercializar el prototipo. En cambio si no funciona adecuadamente, habría que revisar el diseño desde el principio, volviendo a estudiar las especificaciones.

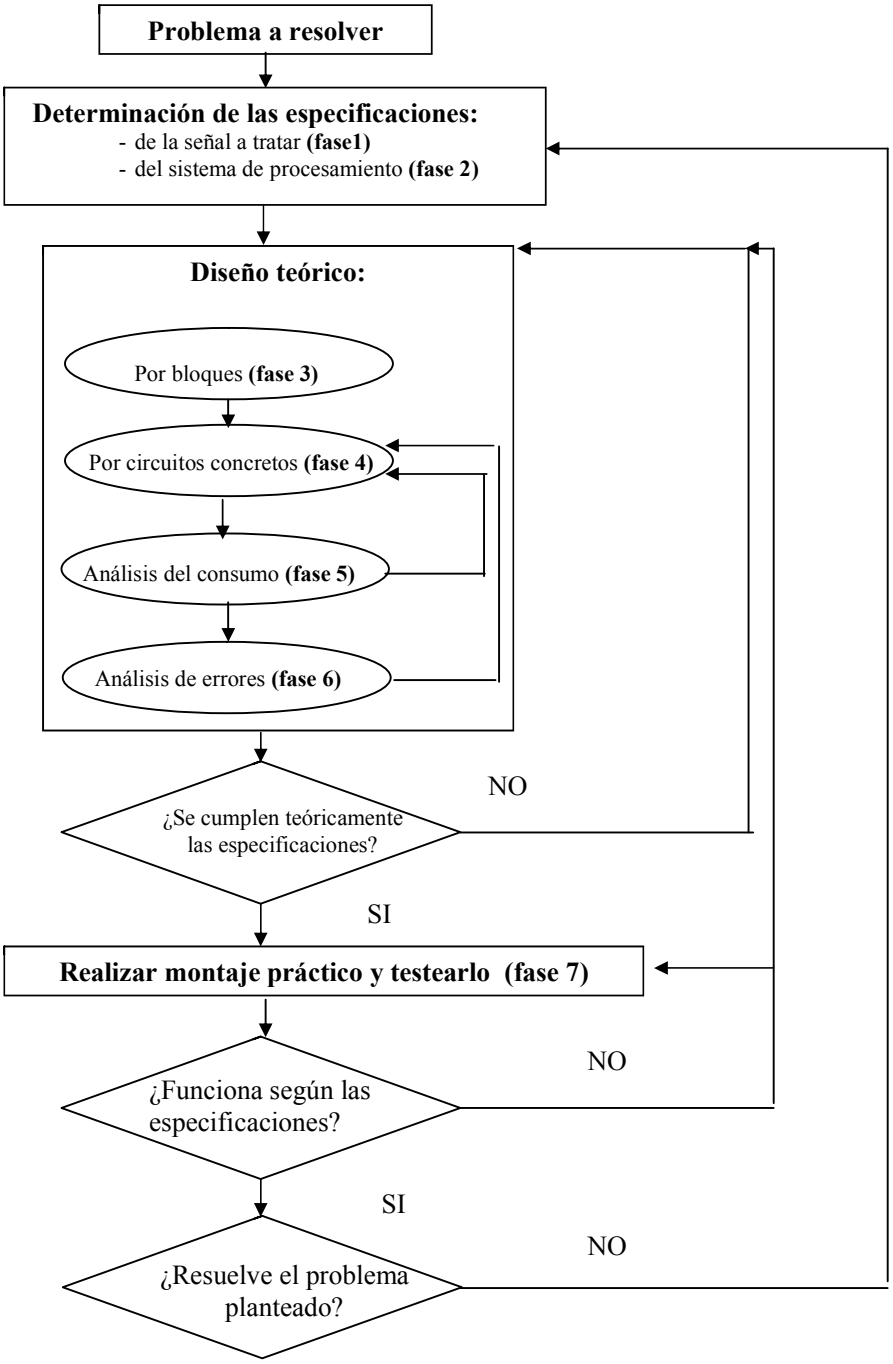
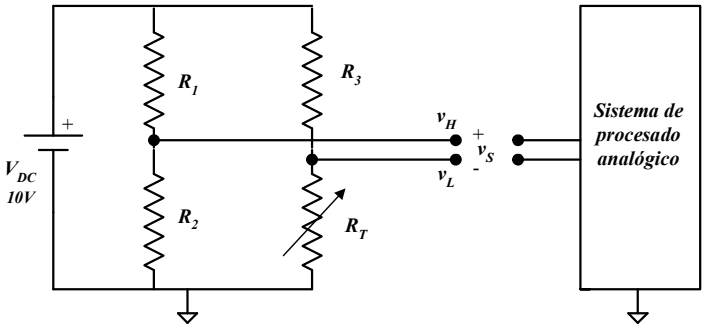


Figura 1. Filosofía de diseño top-down para el procesamiento de una señal analógica

TEMA 1

ESTUDIO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS

PROBLEMA 1



Datos: $R_1=R_2=R_3=1k\Omega$.

En el circuito de la figura, se pide:

1) Dibujar y calcular el circuito equivalente de Thévenin de la señal v_S , donde R_T es una resistencia cuyo valor varía con la temperatura ambiente según la expresión:

$$R_T(T) = R_o + K(T - T_o) \text{ donde } T_o=25ºC,\ R_o=1k\Omega \text{ y } K=1\Omega/ºC$$

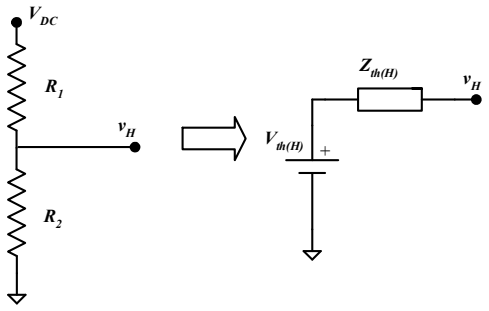
2) Si la temperatura T varía entre 0 y 50º, se pide el rango de variación de las resistencias de Thévenin. Calcular también la amplitud máxima y el nivel de la tensión de Thévenin.

3) Describir la topología de la señal.

SOLUCIÓN

1) Cálculo del circuito equivalente de Thévenin

- Equivalente de Thévenin visto desde el terminal H:



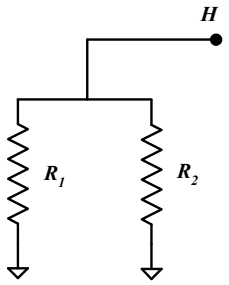
Tensión de Thévenin

Aplicando la fórmula del divisor de tensión obtenemos:

$$V_{th(H)} = V_{DC}\frac{R_2}{R_2 + R_1} = 10\frac{10^3}{10^3 + 10^3} = 5V = \frac{V_{DC}}{2}$$

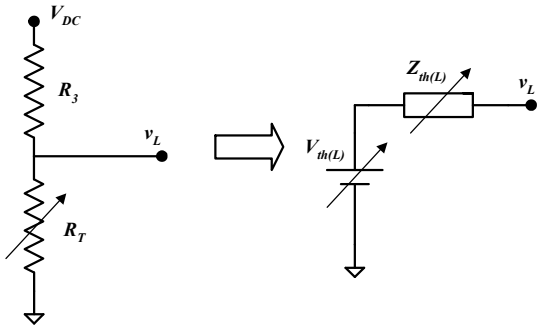
Impedancia de Thévenin:

Cortocircuitando las fuentes de tensión, el circuito queda del siguiente modo:



$$Z_{th(H)} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10^3 \times 10^3}{10^3 + 10^3} = 0.5k\Omega$$

- Equivalente de Thévenin visto desde el terminal L



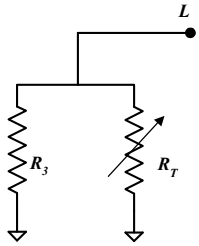
Tensión de Thévenin

Aplicando la fórmula del divisor de tensión obtenemos:

$$V_{th(L)} = V_{DC}\frac{R_T}{R_T + R_3} = V_{DC}\frac{Ro + K(T - T_o)}{Ro + K(T - T_o) + R_3} = 10\frac{10^3 + (T - 25)}{10^3 + (T - 25) + 10^3} = \frac{10 + (T - 25)10^{-2}}{2 + (T - 25)10^{-3}}(V)$$

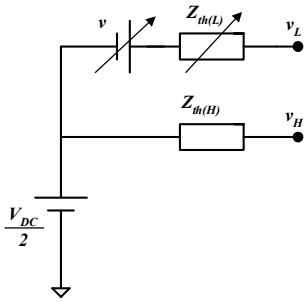
Impedancia de Thévenin

Cortocircuitando las fuentes de tensión, el circuito queda del siguiente modo:



$$Z_{th(L)} = R_T \,//\, R_3 = \frac{R_T R_3}{R_T + R_3} = \frac{10^3(10^3 + (T-25))}{10^3 + 10^3 + (T-25)} = \frac{10^3 + (T-25)}{2 + 10^{-3}(T-25)} (\Omega)$$

- Equivalente de Thévenin completo



Teniendo en cuenta que:

$$v = V_{th(L)} - \frac{V_{DC}}{2} = V_{DC}\frac{R_T}{R_T + R_3} - \frac{V_{DC}}{2} = V_{DC}\frac{R_T - R_3}{2(R_T + R_3)} = \frac{5(T-25)}{2\times 10^3 + (T-25)} (V)$$

2) Cálculo del rango de variación de las resistencias de Thévenin

$Z_{th(H)} = 0.5k\Omega$ fija

$Z_{th(L)} = \dfrac{10^3 + (T-25)}{2 + 10^{-3}(T-25)} (\Omega)$ para *T=0* $\quad Z_{th(L)} = \dfrac{10^3 - 25}{2 - 10^{-3}\times 25} = 493.67\Omega$

para *T=50ºC* $\quad Z_{th(L)} = \dfrac{10^3 + 25}{2 + 10^{-3}\times 25} = 506.17\Omega$

El rango de variación de $Z_{th(L)}$ es *[493.67...506.17Ω]*.

Cálculo del nivel y amplitud máxima de v_s:

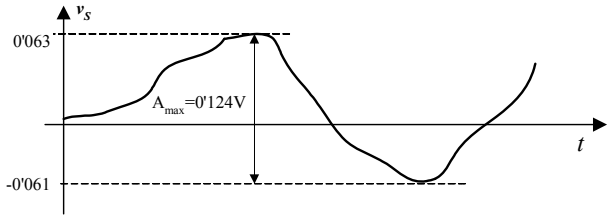
$$v_s = V_{th(H)} - V_{th(L)} = \frac{V_{DC}}{2} - V_{DC}\frac{R_T}{R_T + R_3} = V_{DC}\frac{R_3 - R_T}{2(R_3 + R_T)} = \frac{5(25-T)}{2\times 10^3 + (T-25)} \quad (V)$$

Para $T=0$ $\quad v_s = \frac{5(25-T)}{2\times 10^3 + (T-25)}V = \frac{5\times 25}{2\times 10^3 - 25} = 0.063\,V$

Para $T=50$ $\quad v_s = \frac{5(25-T)}{2\times 10^3 + (T-25)}V = \frac{5\times(-25)}{2\times 10^3 + 25} = -0.061V$

Puesto que la evolución temporal de la señal es desconocida, el valor mínimo de la señal es el nivel de la señal*:* ***nivel=-0.061V***, y la ***amplitud máxima*** es :

*0.063-(-0.061)=**0.124V.***



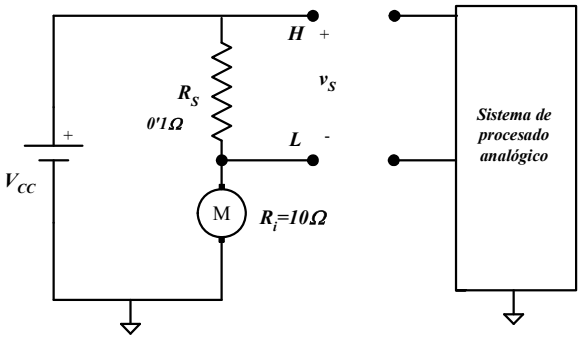
3) Topología de la señal

La señal es ***grounded*** puesto que el punto de referencia de la señal coincide con el punto de referencia del sistema.

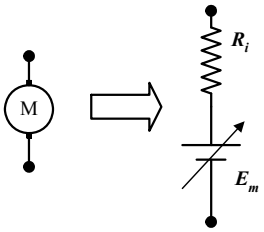
La señal es **pseudodiferencial** puesto que uno de los terminales (L) tiene un potencial variable con respecto al punto de referencia de la señal y el otro terminal (H) tiene un potencial fijo (y distinto de cero) con respecto al punto de referencia de la señal.

PROBLEMA 2

Calcular el circuito equivalente de Thévenin e indicar la topología de la señal.



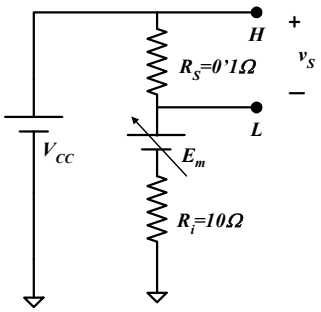
Nota: el motor se puede sustituir por su circuito equivalente:



Donde E es variable y proporcional a la velocidad de giro del motor.

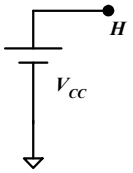
SOLUCIÓN

Sustituyendo el motor por su circuito equivalente, el circuito es el siguiente:



Cálculo del circuito equivalente de Thévenin

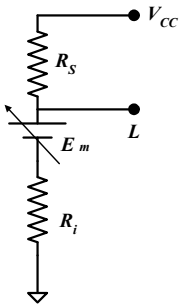
- Equivalente de Thévenin visto desde el terminal H:



$$V_{th(H)} = V_{cc}$$

El potencial de vacío en H es siempre $+V_{cc}$ y además, la impedancia de Thévenin es nula.

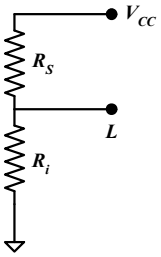
- Equivalente de Thévenin visto desde el terminal L



Tensión de Thévenin

Para calcular la tensión de Thévenin en L vamos a aplicar el teorema de superposición.

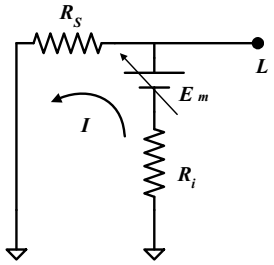
- En primer lugar consideramos únicamente el efecto de la fuente V_{cc}:



Aplicando la fórmula del divisor de tensión obtenemos:

$$V_{th1(L)} = V_{cc}\frac{R_i}{R_i + R_s} = V_{cc}\frac{10}{10+0.1} = 0.99V_{cc} \quad (V)$$

- En segundo lugar consideraremos únicamente el efecto de E_m:



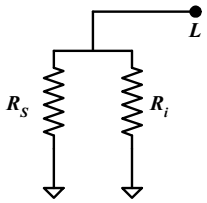
$$V_{th2(L)} = E_m - R_i \times I = E_m - R_i \times \frac{E_m}{R_i + R_s} = E_m(1 - \frac{10}{10+0.1}) = 0.0099E_m \quad (V)$$

La tensión de Thévenin en L es pues la suma de $V_{th1(L)}$ y $V_{th2(L)}$:

$$V_{th(L)} = V_{th1(L)} + V_{th2(L)} = 0.99V_{cc} + 0.0099E_m \ (V)$$

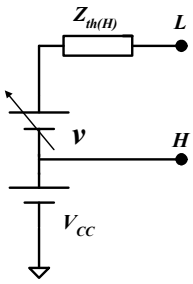
Impedancia de Thévenin

Cortocircuitando las fuentes de tensión, el circuito queda del siguiente modo:



$$Z_{th(L)} = R_i \,//\, R_s = \frac{R_i R_s}{R_i + R_s} = \frac{10 \times 0.1}{10 + 0.1} = 0.099\Omega$$

- Equivalente de Thévenin completo



Teniendo en cuenta que:

$$v = V_{th(L)} - V_{cc} = 0.99V_{cc} + 0.0099E_m - V_{cc} = 0.0099E_m - 0.01V_{cc} \quad (V)$$

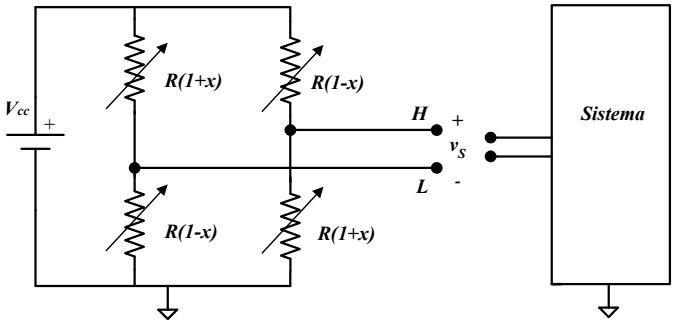
Topología de la señal

La señal es ***grounded*** puesto que el punto de referencia de la señal coincide con el punto de referencia del sistema.

La señal es **pseudodiferencial** puesto que uno de los terminales (L) tiene un potencial variable con respecto al punto de referencia de la señal y el otro terminal (H) tiene un potencial fijo (y distinto de cero) con respecto al punto de referencia de la señal.

PROBLEMA 3

El circuito de la figura representa un sensor de presión en el que al ejercerse una cierta presión, las resistencias se deforman de modo que dos de ellas aumentan *(R(1+x))* y dos de ellas disminuyen *(R(1-x))*, siendo x la deformación.



Datos: $R=500\Omega$; $V_{cc}=10V$

Se pide:

1) Calcular el circuito equivalente de Thévenin de la señal v_S.

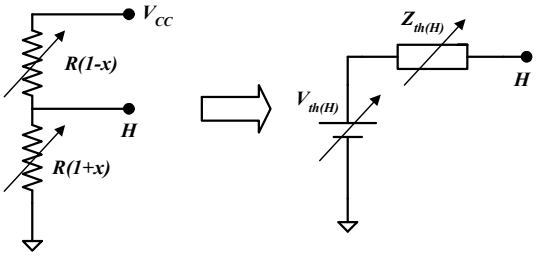
2) Describir la topología de la señal.

3) Sabiendo que la deformación máxima corresponde a $x=0.2$ y en ausencia de ésta $x=0$, calcular el rango de variación de las resistencias de Thévenin. Calcular el nivel y la amplitud máxima de la tensión de Thévenin.

SOLUCIÓN

1) Cálculo del circuito equivalente de Thévenin:

- Equivalente de Thévenin visto desde el terminal H:



Para seguir leyendo, inicie el proceso de compra, click aquí