Lección 10: Sistemas no lineares

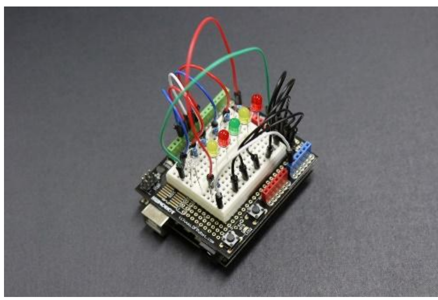
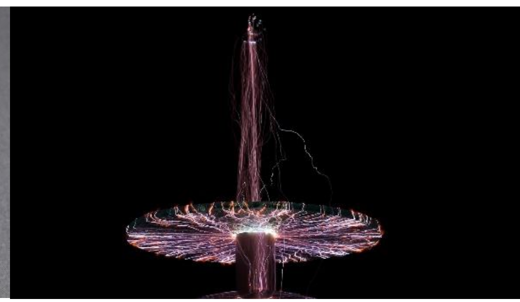
Resumen

No todos los sistemas reaccionan de forma lineal. Muchos sistemas tienen una función de transferencia no lineal que no es accesible a una linearización matemática. Esto requiere un tratamiento más intenso. Aparte de la dispersión y un coeficiente de la componente del pendiente linear, se calcularán otros coeficientes de orden mayor. Cada término está descrito por un índice SNR.

Tabla de contenidos

La repetición de un experimento

El comportamiento no lineal de sistemas se encuentra frecuentemente en aplicaciones técnicas. Estos incluyen componentes electrónicos activos como diodos, transformadores para soldadura, tubos fluorescentes y mucho más.

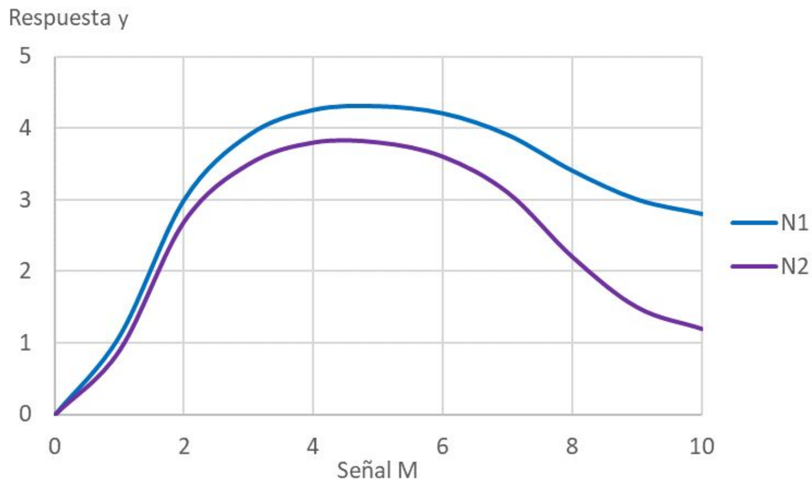



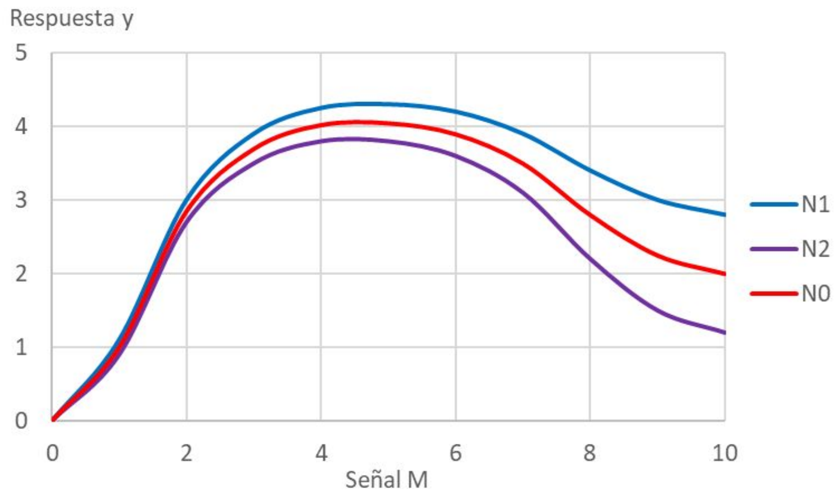
Independientemente de las características de un sistema, hay que realizar al menos una repetición del experimento para poder detectar las diferentes contribuciones de la dispersión de los parámetros. El comportamiento confiable de un sistema se caracteriza por el hecho de que la distancia entre los valores medidos y la repetición es lo más pequeña posible. Sólo así se neutraliza el efecto de una fuente de ruido.

Respuesta estándar

La función de transferencia se caracteriza por la posición central de las repeticiones de un experimento.

$$y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

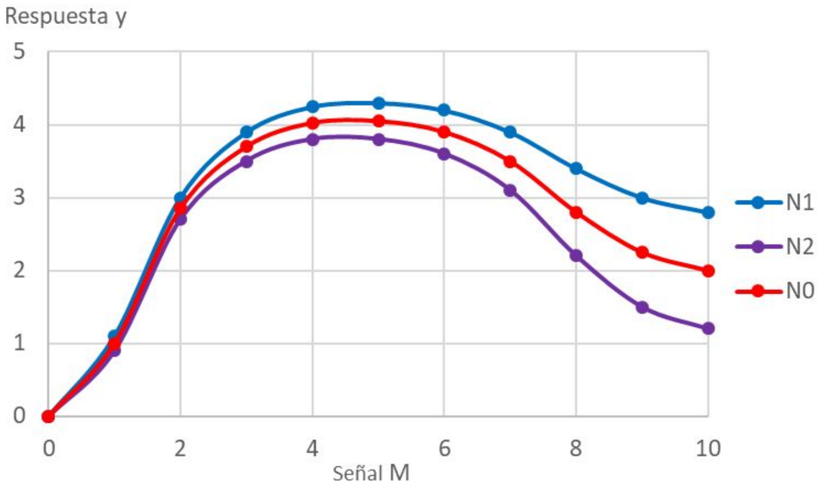


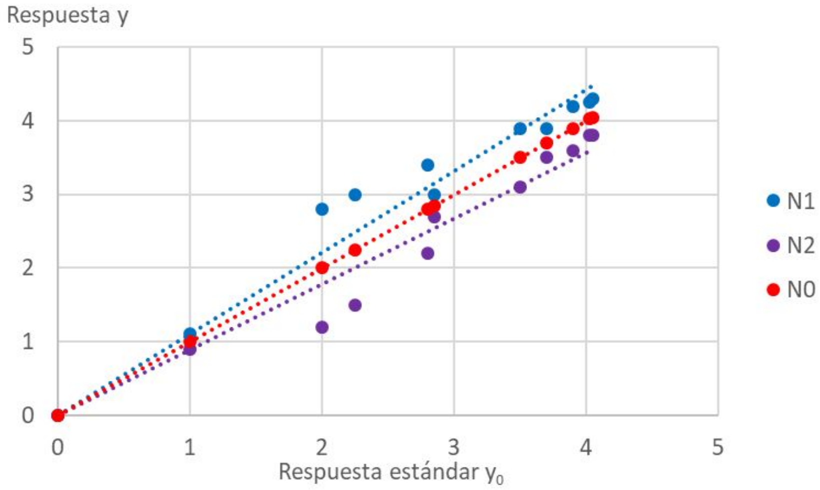


La posición central y_0 se llama la respuesta estándar para la condición estándar N0.

Linearización de la función de transferencia

Si los valores medidos de los niveles de ruido N1 y N2 no están asociados con la señal de entrada M sino a la respuesta estándar y_0, cualquier función de transferencia es linearizada.





Estandarización del índice SNR

Con referencia a los valores de salida estandarizados, se produce una linearización de la curva característica, ya que la abscisa con su señal de entrada es sustituida por los valores de ordenadas de la curva característica estandarizada. Como consecuencia, la pendiente es siempre idéntico a uno.

$$S_2 = \frac{1}{n}(y_{01}^2 + y_{02}^2 + \cdots + y_{0n}^2)$$

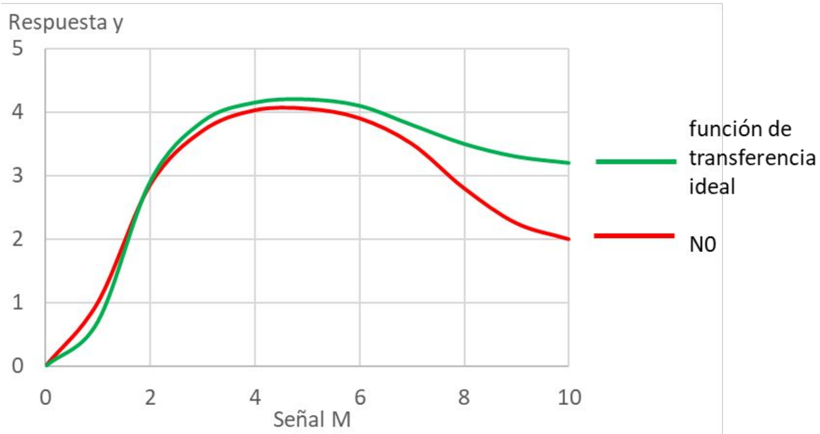
$$\beta = 1$$

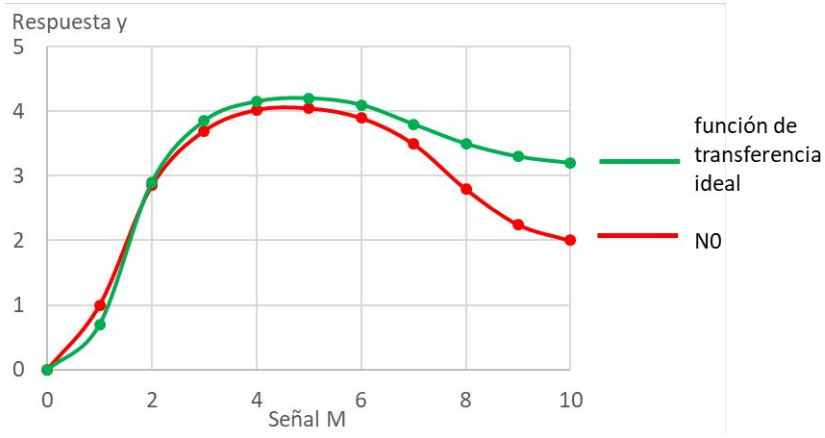
$$\sigma^2 = \frac{\left((y_{11} - y_{01})^2 + \cdots + (y_{1n} - y_{0n})^2\right) + \left((y_{21} - y_{01})^2 + \cdots + (y_{2n} - y_{0n})^2\right)}{2n}$$

$$SNR = 10\ \log\left(\frac{1^2}{\sigma^2} S_2\right)$$

Consecuencias de la estandarización

El método de linearización tiene como consecuencia que se pierda la información de las diferentes pendientes. No es posible tener en cuenta el índice SEN. Para la evaluación de los experimentos, se requiere introducir un conjunto de valores de señales que se basan en las leyes físicas. Si no se consigue aplicar esto, se utilizará en su lugar una función de transferencia ideal del uso práctico del sistema.

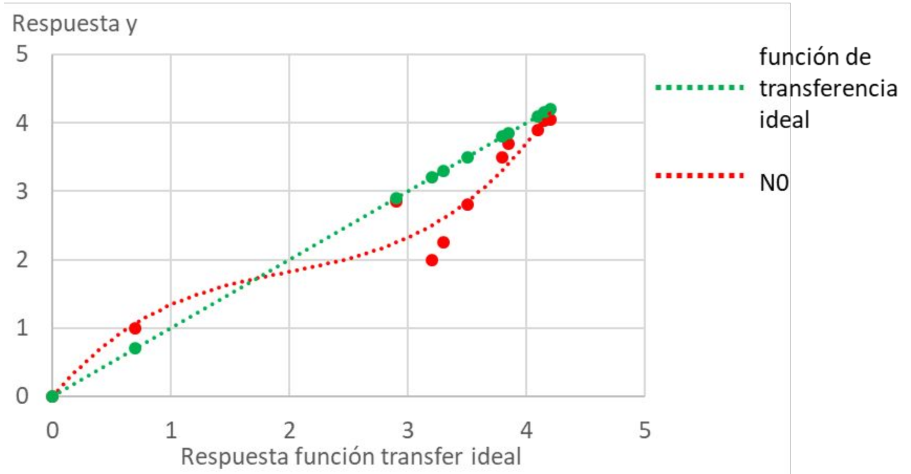




Función de transferencia ideal o escalada

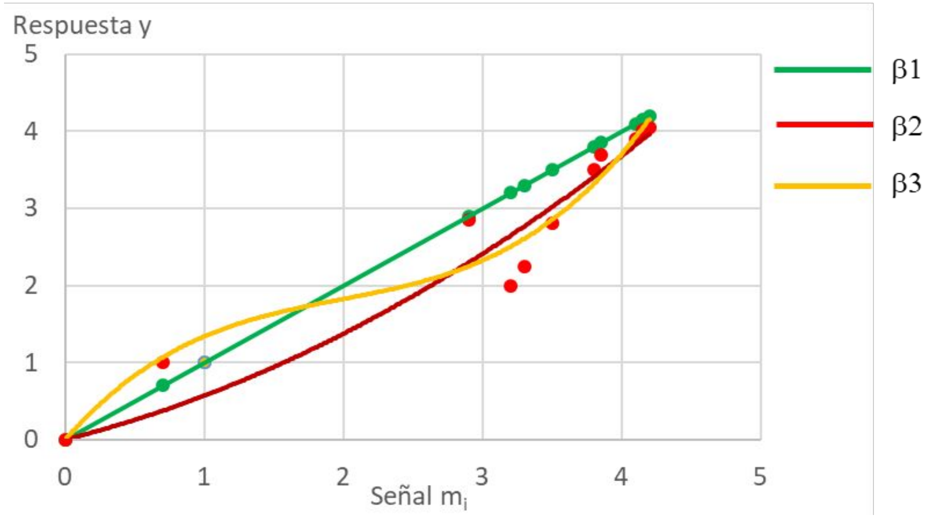
Por lo tanto, los valores individuales de las ordenadas estandarizadas, que sirven como señal de entrada para el cálculo del índice SNR, están relacionados con un nuevo conjunto de ordenadas de una función de transferencia ideal. Esta función de transferencia representa la señal de entrada obligada m_{0i} como objetivo para todos los experimentos. Dado que no siempre se puede alcanzar un comportamiento ideal del sistema, un factor de escala se puede aplicar, es decir, las señales de entrada m_{0i} se pueden comprimir o ampliar. Las señales de entrada válidas se designan como m_i.

$$M_i \rightarrow y_{0i} \rightarrow m_{0i} \rightarrow m_i$$



Evaluación de experimentos

Para la evaluación de los experimentos, en el primer paso siempre se calculará el índice SNR, maximizado con los efectos de los parámetros, y en el segundo paso se calculará la pendiente para acercarlo lo más posible a uno sin disminuir el índice SNR. Si la curva característica de los datos se desvía de una línea recta en condiciones estándar, se produce una línea curveada. Si la curvatura se puede eliminar en gran parte, también se pueden superponer desviaciones de orden superior como componentes ondulados.



Optimización de sistemas

Para acercarse lo más posible al comportamiento ideal del sistema, los siguientes objetivos tienen que ser alcanzados:

- Determinación del máximo índice posible del SNR: SNR = máximo
- Adaptación de la pendiente de la componente de la linea recta: $\beta_1 = 1$
- Reducir la curvatura en la mayor medida posible: $\beta_2 = 0$
  La curvatura es un coeficiente no lineal de 2º orden
- Reducir las oscilaciones en la mayor medida posible: $\beta_3 = 0$
  La oscilación es un coeficiente no lineal de 3er orden
- Las oscilaciones de orden superior se describen mediante coeficientes no lineales del orden correspondiente

Como muestra la práctica, los valores numéricos del coeficiente del 3er orden y superiores son negligentemente pequeños, por lo que el cálculo puede limitarse al índice SNR, la pendiente β_1 y la curvatura β_2.

Cálculo de los coeficientes

Los coeficientes se derivan de la serie de potencia con el origen como punto de desarrollo y la función de la línea recta con la pendiente 1. La serie consiste en la forma lineal con $\beta 1$, así como el término cuadrático con $\beta 2$, el término cúbico con $\beta 3$ y términos superiores en forma correspondiente.

$$y = \beta 1\, m + \beta 2\, (m^2 + a\, m) + \beta 3\, (m^3 + b_1\, m^2 + b_2\, m) + \beta 4\, (\ldots)$$

Para la aplicación práctica, es suficiente el cálculo del índice SNR, β1 y β2.

$$y \approx \beta 1\, m + \beta 2\, (m^2 + a\, m)$$

Para tener términos de potencia independientes, los coeficientes de los polinomios se determinan a partir de la condición de ortogonalidad, es decir, los productos emparejados de los polinomios se ponen a cero.

Fórmulas de los coeficientes

Se introducen los momentos de orden superior para simplificar la notación.

$$S_2 = \frac{1}{n}(m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \cdots + m_n^2)$$

$$S_3 = \frac{1}{n}(m_1^3 + m_2^3 + m_3^3 + \cdots + m_n^3)$$

$$\beta 1 = \frac{y_{01}m_1 + y_{02}m_2 + \cdots + y_{0n}m_n}{m_1^2 + m_2^2 + \cdots + m_n^2}$$

$$\beta 2 = \frac{y_{01}\left(m_1^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_1\right) + y_{02}\left(m_2^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_2\right) + \cdots + y_{0n}\left(m_n^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_n\right)}{\left(m_1^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_1\right)^2 + \left(m_2^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_2\right)^2 + \cdots + \left(m_n^2 - \frac{S_3}{S_2}\, m_n\right)^2}$$

Análisis de sistemas

En el caso de las pendientes, es importante que los efectos de los parámetros sean claramente reconocibles, de modo que no se utilice la representación equivalente del índice SNR, es decir la forma logarítmica. Incluso si el esfuerzo de cálculo parece ser mayor que en los sistemas lineales, en principio siempre se puede aplicar el procedimiento del índice SNR estandarizado. La ventaja decisiva de este enfoque consiste en la separación en componentes lineales y no lineales de cualquier función de transferencia, que pueden ser analizados, controlados o compensados independientemente unos de otros.