

Tecnología Electrónica - T.P. N°4
Diseño de Inductor con Núcleo para Fuentes Conmutadas

Gonzalez, Gabriel
Gratton, Antonino
Randazzo, Ignacio

6 de octubre de 2019



UTN - FRC

Ingeniería Electrónica - 5R2

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Actividad práctica	1
1.3. Evaluación del trabajo práctico	2
2. Desarrollo	3
2.1. Datos de fuente conmutada	3
2.2. Diseño del inductor	4
Elección del material y del tipo de núcleo	4
Determinación del número de vueltas del devanado	4
Determinación del conductor a emplear	5
Cálculo de las pérdidas correspondientes	5
2.3. Comprobación del diseño	6
Medición de la inductancia	6
Medición de salto de temperatura	6
Medición del riple	7
2.4. Ensayo del núcleo	7
3. Conclusiones	8

Capítulo 1

Introducción

1.1. Objetivos

- Aprender técnicas de diseño de inductores con núcleo.
- Verificación de la calidad del bobinado.
- Familiarización con los distintos tipos de núcleos.
- Interpretación de los datos de los fabricantes de núcleos.
- Determinación de los parámetros del núcleo. Ensayos.
- Diseño de un inductor para una fuente conmutada.

1.2. Actividad práctica

El trabajo práctico deberá ser realizado teniendo en cuenta lo visto en clase sobre el tema y en base al apunte.

- Datos a obtener del diseño de la fuente conmutada:
 - Valor de la inductancia deseada L .
 - Máxima corriente continua circulante I .
 - Tensión alterna aplicada E .
 - Frecuencia de trabajo f .
- Tareas a realizar:
 - Diseño del inductor
 - Elección del material y del tipo de núcleo.
 - Determinación del número de vueltas del devanado.
 - Determinación del conductor a emplear.
 - Cálculo de las pérdidas correspondientes.
 - Comprobación del diseño:
 - Medición de la inductancia.
 - Comprobación de la máxima densidad de flujo magnético B_{max} .
 - Mediciones del salto de Temperatura con plena carga de corriente.
 - Medición del ripple de corriente sobre el inductor con plena carga de corriente.

- Ensayo del núcleo
 - Determinación del factor de inductancia $A L$ para diferentes núcleos.
 - Comprobación con los valores declarados por el fabricante.
- Materiales e instrumentos a utilizar
 - Diferentes tipos de núcleos comerciales con sus hojas de datos correspondientes.
 - Alambres esmaltados de diferentes secciones.
 - Medidor puente RLC.
 - Medidor de Temperatura.
 - Osciloscopio

1.3. Evaluación del trabajo práctico

La evaluación se basará en los siguiente puntos:

1. Base teórica sobre Inductores y del método de diseño.
2. Informe con los cálculos realizados, las mediciones y las conclusiones correspondientes.

Capítulo 2

Desarrollo

2.1. Datos de fuente conmutada

- $L = 60 [\mu H]$
Calculado en el diseño de la fuente conmutada a partir de la tensión de salida, el tiempo muerto donde la bobina debe entregar la energía necesaria, y la corriente circulante durante la alimentación de la bobina.
- $I = 2,5 [A]$ (régimen normal) / $3,5 [A]$ (corriente máxima soportada)
- $E_{rms} = 11,9792 [V]$
Este valor fue obtenido por el siguiente procedimiento:
 1. Se tomó la forma de onda de la tensión en bornes del inductor con un osciloscopio RIGOL DS1102, mostrada en la figura 2.2 y se guardó en formato WFM (Waveform Data).
 2. Se convirtió a formato CSV (Comma Separated Value) con el software UltraScope de Rigol.
 3. Se extrajo un ciclo de los valores de tensión muestreados por el osciloscopio y se los modificó para una correcta y más práctica interpretación de un algoritmo implementado en C++.
 4. Se desarrolló el programa antes mencionado basándose en el cálculo del valor eficaz de una señal discreta de tensión:

$$E_{ef} = E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N v_{[i]}^2}$$

5. Se aplicó este programa al archivo antes descrito y se obtuvo el valor de tensión correspondiente.
- $f = 160 [Khz]$ (frecuencia de señal rectificada) / $80 [Khz]$ (frecuencia de señal original)
Se aclara esto debido a que si bien en teoría a vista de la bobina la frecuencia debería ser $160 [Khz]$ (el doble de la frecuencia original), en la práctica los dos pulsos incidentes en la bobina correspondientes a la rectificación no son exactamente iguales por lo que para ciertos cálculos como el de la tensión eficaz se debe tener en consideración la frecuencia original de $80 [Khz]$.

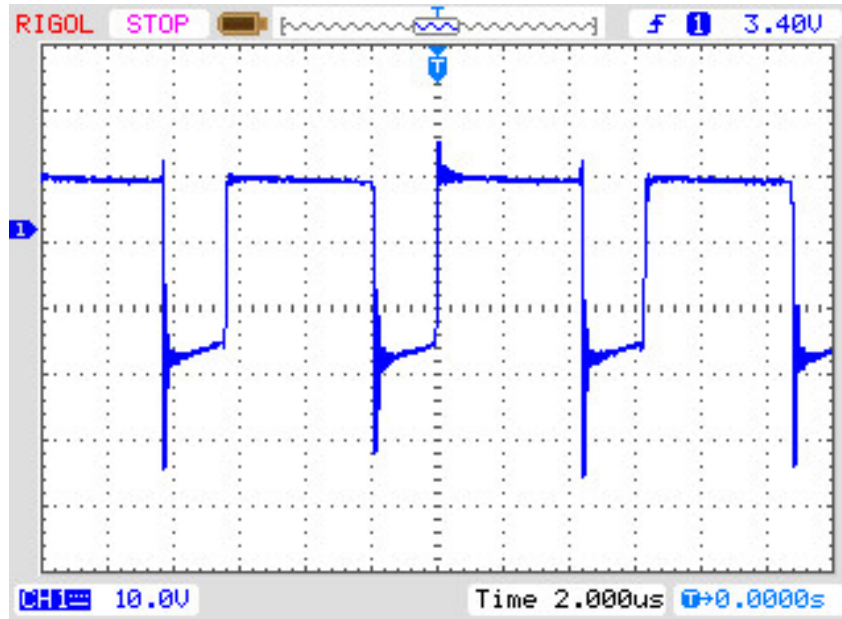


Figura 2.1: Forma de onda de tensión en bobina

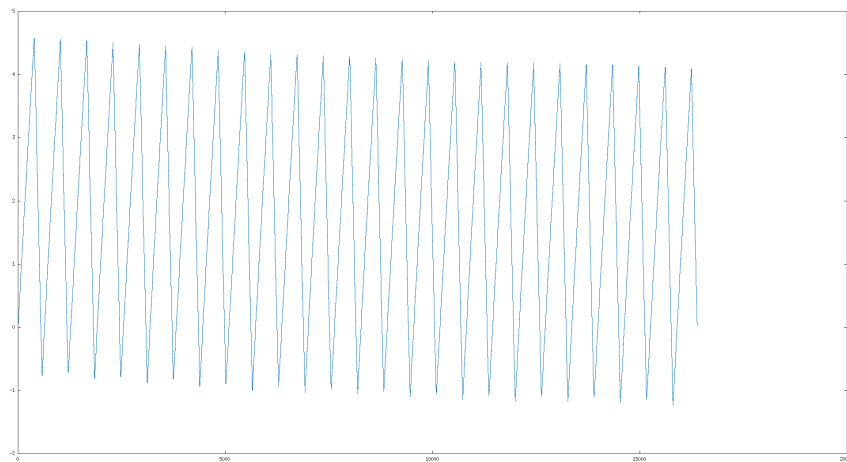


Figura 2.2: Forma de onda de corriente en bobina graficado en Octave

2.2. Diseño del inductor

Elección del material y del tipo de núcleo

Por cuestiones de practicidad se utilizó un núcleo toroidal T94-26, de hierro en polvo, utilizado antes en una fuente conmutada lo que aseguraba un apropiado funcionamiento para esta tipo de aplicación.

Determinación del número de vueltas del devanado

Siendo que el factor de inductancia A_L proporcionado por la hoja de datos del toroide es de $60 \left[\frac{nH}{N^2} \right]$ se puede calcular número de vueltas del devanado de la siguiente forma:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-9}}} = 31,62 \simeq 32$$

Por lo tanto $N = 32$

Determinación del conductor a emplear

Ya que la corriente máxima admisible que puede soportar la fuente es de 3,5 [A] el alambre admisible más próximo a este valor es el AWG-16, con un diámetro de 1,29 [mm] y una corriente admisible de 3,7[A].

Cálculo de las pérdidas correspondientes

- $P_T = P_N + P_C = 0,26193 [W]$
 - $P_N = V_e \cdot C_l = 172,63 [mW] = 0,17263 [W]$
 - $C_l = \frac{f}{\frac{a}{B_{pk}^3} + \frac{b}{B_{pk}^{2,3}} + \frac{c}{B_{pk}^{1,65}}} + d \cdot B_{pk}^2 \cdot f^2 = 79,92 [\frac{mW}{cm^3}]$
 - ◊ $\frac{E_{rms} \cdot 10^8}{4,44 \cdot A_e \cdot N \cdot f} = 145,56 [G]$
 - ◊ $a = 1 \cdot 10^9$
 - ◊ $b = 1,1 \cdot 10^8$
 - ◊ $c = 1,9 \cdot 10^6$
 - ◊ $d = 1,9 \cdot 10^{-3}$
 - $V_e = 2,16 [cm^3]$
 - $P_C = I^2 \cdot R_C = 89,3 [mW] = 0,0893 [W]$
 - $R_C = \rho \cdot l_C = 0,0143 [\Omega]$
 - ◊ $\rho = 129 \cdot 10^{(-6)} [\frac{\Omega}{cm}]$
 - ◊ $l_C = N \cdot L_M = 111,04 [cm]$
 - ◊ $L_M = 3,47 [cm]$

Las valores corresponden a las siguientes propiedades:

- P_T : Pérdidas totales [W].
- P_N : Pérdidas en el núcleo [W].
- P_C : Pérdidas en el conductor [W].
- V_e : Volumen efectivo del núcleo [cm³] (proporcionado por hoja de datos).
- C_l : Core Loss, pérdida relativa del núcleo [$\frac{mW}{cm^3}$].
- f : Frecuencia nominal [hz].
- B_{pk} : Campo magnético circulante en el núcleo [Gauss].
- R_C : Resistencia del conductor [Ω].
- ρ : Resistividad del conductor [$\frac{\Omega}{cm}$] (tabla AWG).
- l_C : Longitud total del conductor [cm].
- L_M : Longitud media de cada espira [cm] (mean leng per turn, proporcionado por hoja de datos).

Estós cálculos estan basados en el apunte de la cátedra y la hoja de datos del núcleo correspondiente.

2.3. Comprobación del diseño

Medición de la inductancia

Se realizó la medición con el medidor puente RLC de dos bobinas, siendo una de estas la calculada anteriormente:

- Bobina 1 (calculada anteriormente): $L(1) = 43 [\mu H]_{(100Khz)}$
- Bobina 2: $L(2) = 220 [\mu H]_{(100Khz)}$

Medición de salto de temperatura

Se observaron las siguientes variaciones:

- $T_i = 27C$
- $T_f = 37C$
- $\Delta T = 10C$

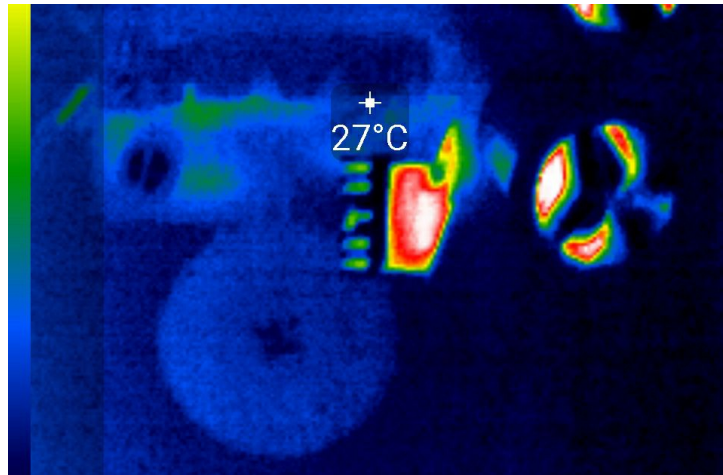


Figura 2.3: Captura térmica a temperatura ambiente

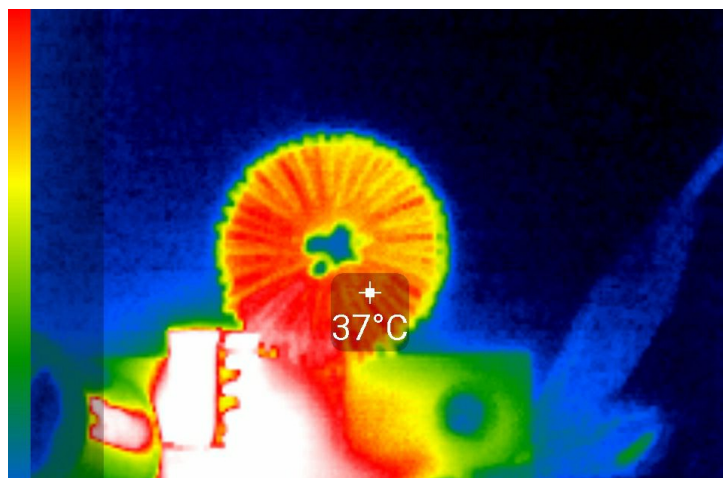


Figura 2.4: Captura térmica con régimen de trabajo

Medición del ripple

Se observa un ripple de un 8 % del valor nominal de corriente, se tomó el ripple de tensión presente en la carga y en función de este se calculó este porcentaje.

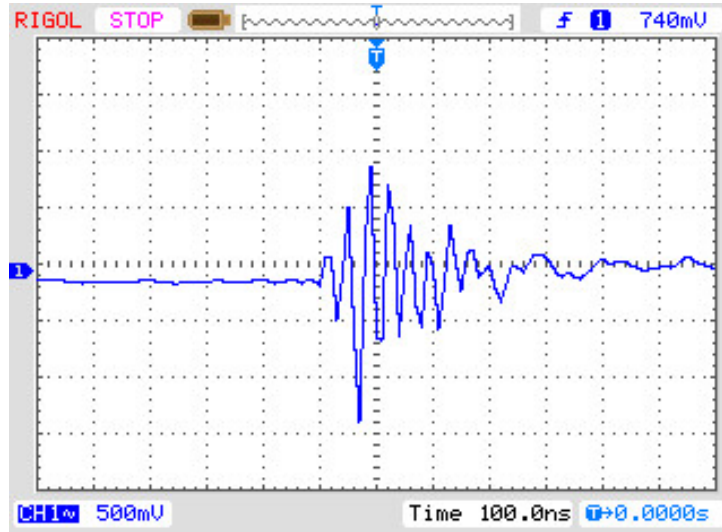


Figura 2.5: Forma de onda de ripple

2.4. Ensayo del núcleo

- $A_L(1) = \frac{2E(1)}{(N(1) \cdot I_{max})^2} = 41,99 \left[\frac{nH}{N^2} \right]$
 - $E(1) = \frac{1}{2} \cdot L(1) \cdot I_{max}^2 = 187,5 \text{ } [\mu J]$
- $A_L(2) = \frac{2E(2)}{(N(2) \cdot I_{max})^2} = 57,23 \left[\frac{nH}{N^2} \right]$
 - $E(2) = \frac{1}{2} \cdot L(2) \cdot I_{max}^2 = 687,5 \text{ } [\mu J]$
 - $N(2) = 62$

El valor proporcionado por el fabricante es de $A_L = 60 \left[\frac{nH}{N^2} \right]$. Los dos inductores medidos tienen el mismo núcleo y si bien los valores medidos indirectamente no son exactamente iguales al dado por la hoja de datos, se acercan lo suficiente para considerar al diseño correcto atribuyendole los errores de construcción que puede haber tenido el inductor y otros factores externos.

Capítulo 3

Conclusiones

Se puede concluir que si bien el cálculo inicial para el diseño de una bobina de ahogo o bobina choke para la salida de una fuente conmutada es crucial para el comienzo de la construcción del inductor, en la práctica y debido a los múltiples factores que influyen en el comportamiento de la fuente en funcionamiento se debe reajustar ciertos parámetros de diseño para obtener resultados óptimos en la aplicación para lo que se diseñó la bobina. Estos cambios conllevan una diferencia de valores medidos a los calculados y comportamientos térmicos y eléctricos no previstos en el diseño, por lo que un correcto diseño de la bobina sería en principio realizando los cálculos teóricos, luego reajustando los parámetros para el funcionamiento buscado de la fuente y realizar las mediciones pertinentes a la bobina instalada para calcular los valores de diseño reales para, por ejemplo, prever el comportamiento de la misma a largo plazo.