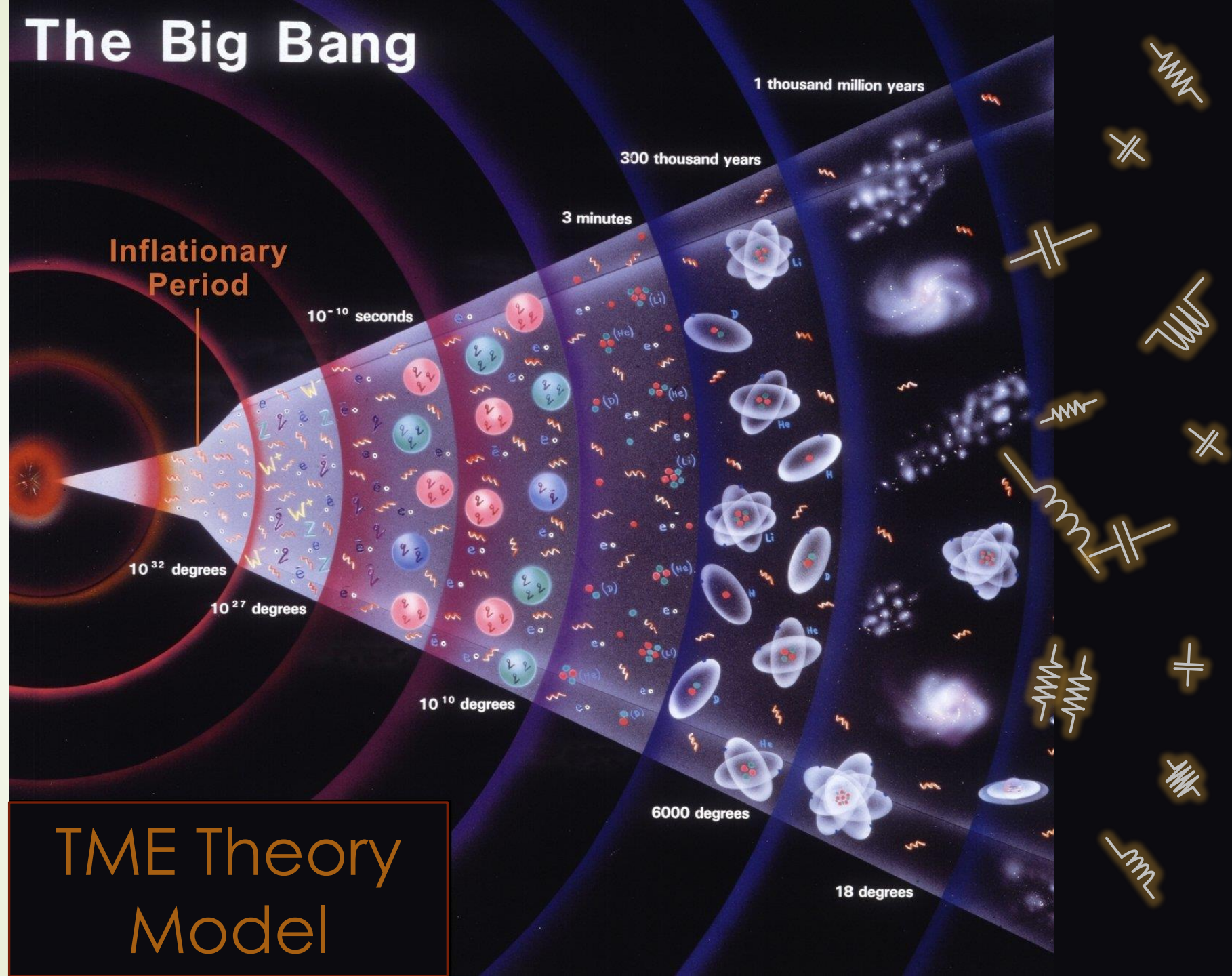


22.53

Tecnología de Materiales Electrónicos

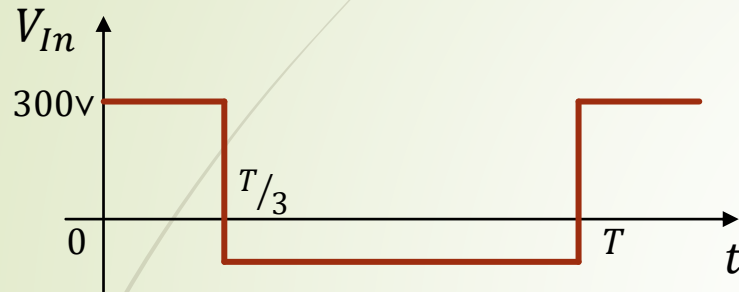
Transformadores

Miguel Aguirre
Revisión 2 – Ago/2020



Inductores: ejemplo de diseño

Sobre un núcleo E 30/15/7 de material N27 fabricar un inductor con $L=20\text{mH}$ y que pueda trabajar en las siguientes condiciones sin saturarse: $V_{in}=300\text{V}$, $D=0.33333$, $F=100\text{KHz}$



Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 1.12 \text{ mm}^{-1}$$

$$l_e = 67 \text{ mm}$$

$$A_e = 60 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 49 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 4000 \text{ mm}^3$$

$$R = \frac{l_e}{\mu_0 \mu_e A_e}$$

Approx. weight 22 g/set

Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	P_V W/set
N30	3100 +30/-20%	2760	
N27	1700 +30/-20%	1510	< 0.81 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N87	1900 +30/-20%	1690	< 2.20 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0.10 ±0.02	460	410
N87	0.18 ±0.02	300	265
	0.34 ±0.02	195	175

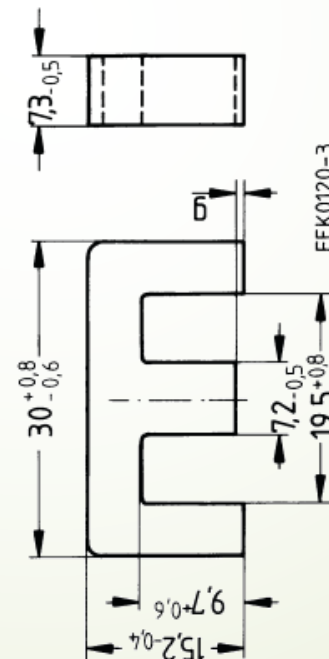
1- Calcular el número mínimo de espiras para que el inductor no sature:

$$B_{Max} = \frac{1}{2} \frac{\int_0^{T/3} 300v dt}{N_{min} A_{min}} = 200\text{mT} \ll B_{Sat}$$

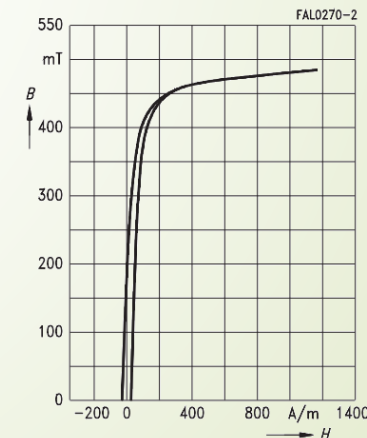
$$N_{min} = \frac{1}{2} \frac{\int_0^{T/3} 300v dt}{200\text{mT} A_{min}} = \frac{\frac{1}{2} 300v \cdot 10\mu s / 3}{0.2T \cdot 49 \cdot 10^{-6} \text{m}^2} = 51.02$$

2- Calcular el número de espiras necesario para la inductancia requerida:

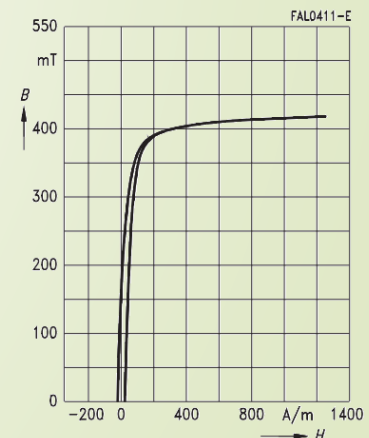
$$L = \frac{N^2}{R} = A_L N^2 \quad N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{20\text{mH}}{1700\text{nH}}} = 109$$



Dynamic magnetization curves
(typical values)
(f = 10 kHz, T = 25 °C)



Dynamic magnetization curves
(typical values)
(f = 10 kHz, T = 100 °C)



Inductores: ejemplo de diseño

3- Por error la persona de compras consigue el núcleo con Gap de 0.1mm, calcule el valor de la inductancia resultante:

$$L = A_L N^2 = 460 \text{ nH} * 109^2 = 5.5 \text{ mH}$$

4- Calcule el Bmax con N=109 y núcleo con Gap

$$B_{real} = \frac{1}{2} \frac{\int_0^{T/3} 300v \, dt}{N_{min} A_{min}} = 93.6 \text{ mT} < 200 \text{ mT}$$

5- Aprovechando la situación se decide hacer circular por el inductor una corriente continua I_{DC} :

$$B_{Max} = \frac{1}{2} \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_{(t)} dt}{NA} + \frac{N I_{DC} A_L}{A_{min}}$$

$$I_{DC} \leq (200 - 93.6) \text{ mT} \left(\frac{A_{min}}{N A_L} \right) = 100 \text{ mA}$$

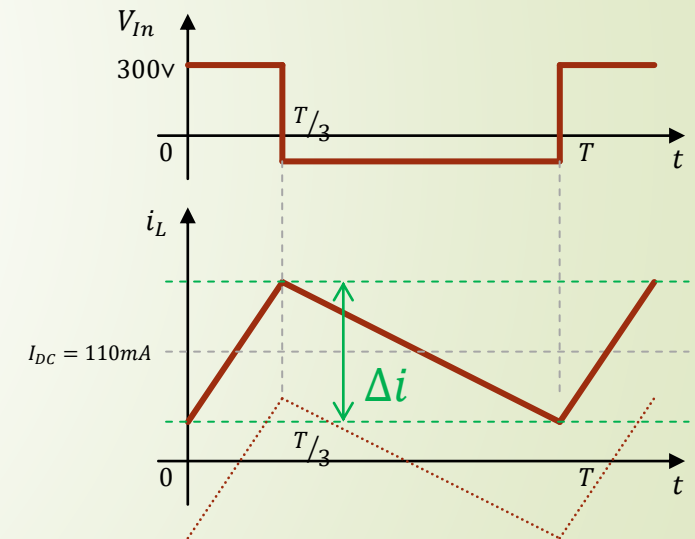
\uparrow
 460 nH

Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	P_V W/set
N30	3100 +30/-20%	2760	
N27	1700 +30/-20%	1510	< 0.81 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N87	1900 +30/-20%	1690	< 2.20 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e
N27,	0.10 ±0.02	460	410
N87	0.18 ±0.02	300	265
	0.34 ±0.02	195	175



$$V_L = L \, di/dt \rightarrow \Delta i = \frac{V}{L} \Delta T = \frac{300v}{5.5 \text{ mH}} T/3 = 183 \text{ mA}$$

Inductores: ejemplo de diseño

6- La máxima sección de cable que puede entrar, considerando un factor de ventana $K_W = 0.55$:

$$S_{Cu} = \frac{A_W K_W}{N} = \frac{90\text{mm}^2 * 0.55}{109} = 0.45\text{mm}^2$$

7- El valor normalizado más cercano es 0.5mm^2 , por lo que el factor de ventana resultante es:

$$K_W = \frac{S_{Cu} N}{A_W} = \frac{0.5\text{mm}^2 * 109}{90\text{mm}^2} = 0.61 \text{ ¡Jugado!}$$

8- La resistencia del bobinado será:

$$r = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{l N}{A_{Cu}/N}$$

$$R_{Cu} = A_R N^2 = 21 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot 109^2 \approx 0.25 \Omega$$

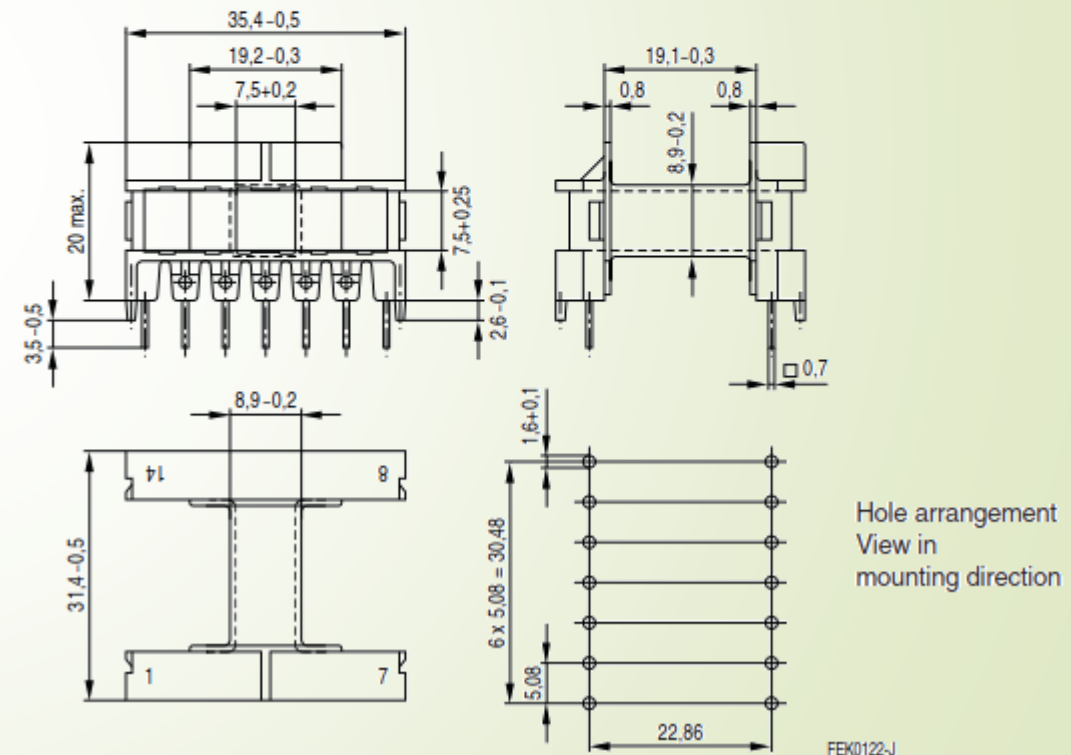
9- T.H.:

- calcular la densidad de corriente (J A/mm^2) con el que trabaja el cable.
- Efecto Skin? -> Calcular la R_{cu}
- Calcular las pérdidas en Watt

Yoke Material: Stainless spring steel (0.4 mm)

Coil former						Ordering code
Version	Sections	A_N mm ²	l_N mm	A_R value $\mu\Omega$	Pins	
Horizontal	1	90	56	21	14	B66232B1114T001
Vertical	1	90	56	21	12	B66232J1112T001
Yoke (ordering code per piece, 2 are required)						B66232A2010X000

Horizontal version



FEK0122-J

Transformadores: ejemplo de diseño

Sobre un núcleo E 30/15/7 de material N27, con Gap=0.1mm, fabricar un transformador que pueda trabajar en las siguientes condiciones sin saturarse: $V_{in}=300V$, $D=0.3$, $F=100KHz$, $V_o=35V$

1- Calcular el número mínimo de espiras para que el núcleo no sature:

Como el primario va a estar en las mismas condiciones que el ejercicio del inductor: $N_{1min} = 51$

2- Calcular la Inductancia de Magnetización: $L = A_L N^2 = 460nH * 51^2 = 1.2 mH$

3- Calcular N2:

$$N_2 = N_1 \frac{V_2}{V_1} = 51 \frac{35v}{300v} = 6$$

4- Dimensionar los cables:

$$S_{Cu1} = \frac{A_W / 2 K_W}{N_1} = \frac{45mm^2 * 0.4}{51} = 0.353mm^2$$

$$S_{Cu2} = \frac{A_W / 2 K_W}{N_2} = \frac{45mm^2 * 0.4}{6} = 3 mm^2$$

5-¿Efecto Skin? $SD = 66 / \sqrt{F} = 0.21mm$ Que significa un cable de sección: $\pi (SD/2)^2 = 0.034 mm^2$

El primario debería hacerse con 10 cables en paralelo y el secundario con 88 => ¡Litz o Fleje!

Transformadores: ejemplo de diseño

6- La corriente RMS que puede circular por los bobinados es:

$$i_{RMS1} = J S_{cu1} = 2 \frac{A}{mm^2} 0.35 mm^2 = 0.7 A$$

$$i_{RMS2} = J S_{cu2} = 2 \frac{A}{mm^2} 3 mm^2 = 6 A$$

7- Potencia de salida del transformador:

$$P_{OUT} = V_{2rms} i_{2rms} = 10.6 v 6 A = 63.6 W$$

8- La resistencia del bobinado será:

$$R_{Cu1} = A_R N_1^2 = 21 \cdot 10^{-6} \Omega 51^2 \approx 0.055 \Omega$$

$$R_{Cu2} = A_R N_2^2 = 21 \cdot 10^{-6} \Omega 6^2 \approx 756 \mu\Omega$$

9- Las pérdidas en el cobre valen:

$$P_{cu1} = 0.055 \Omega (0.7 A)^2 = 0.027 W$$

$$P_{cu2} = 756 \mu\Omega (6 A)^2 = 0.027 W$$

10- Pérdidas en el núcleo:

Del gráfico de la hoja de datos del **material**, las pérdidas normalizadas a 100kHz y 200mT son 1200kW/m³. En la hoja de datos del **núcleo**, el volumen de un juego de dos piezas es de 4000mm³.

$$P_{núcleo} = 1.2 \cdot 10^6 W/m^3 * 4 \cdot 10^{-9} m^3 \approx 4.8 mW$$

11- Rendimiento:

$$\eta = \frac{63.2 W}{63.2 W + (0.027 + 0.027 + 0.0048) W} = 99.9\% \text{ 😊}$$

Relative core losses
versus frequency
(measured on R16 toroids)

