

Apostila MB sobre indutores com núcleo de ferrite

- 1- AL - Fator de indutância.
- 2- Indutor sem núcleo.
- 3- Indutor com núcleo.
- 4- μ = permeabilidade magnética.
- 5- Exemplos
- 7- Observações
- 8- A verdade sobre o cálculo
- 13- Bibliografia

12/04/2008 a 20/04/2008

Luiz Bertini

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL}}$$

onde: N = nº de espiras

L = valor do indutor (dado em nH)

AL = fator de indutância

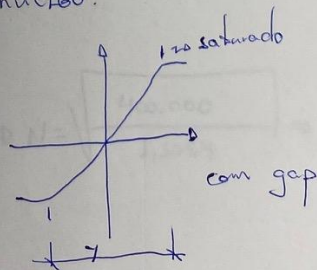
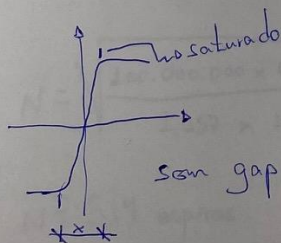
Quando você for fazer um indutor com um núcleo e o fabricante indicar o fator de indutância (AL) do núcleo, está é a forma ideal. Perceba que o valor de L é dado em nanoH então, se for calcular um indutor de 300nH, você deverá colocar 300.000 nH que é igual a 300nH.

Com AL a fórmula acima é a coisa mais fácil calcular um indutor. Mas lembre-se que: para um mesmo núcleo podemos ter diversos AL pois o mesmo dependerá da existência e da espessura do gap.

- Sem gap maior AL , menor quantidade de espiras para uma mesma indutância, porém maior facilidade de saturar o núcleo.
- Com gap menor AL , maior quantidade de espiras para uma mesma indutância, mas uma maior dificuldade de saturar o núcleo.

- Sem gap pouca corrente pode circular pelo indutor, caso contrário o núcleo satura e toda a " XL some". A única resistência será a do fio. Geralmente muito baixa.

- Com gap, e quanto maior, maior a corrente que pode circular sem saturar o núcleo.



Podemos perceber que temos mais "range" com gap. Veja que I é muito maior que x .

Alguns vezes você precisa fazer um indutor com um núcleo que não é fechado, por exemplo, um bastão de ferrite, e aí as coisas se complicam um pouco. O que fazer? Aplique a equação abaixo e resolva tudo. Mas antes de você ver a equação abaixo perceba que ela não leva em consideração a bitola do fio e nem a corrente que passará por ele, pelo menos não diretamente.

Normalmente, na prática, temos um valor de indutância e temos que passar, ou melhor, calcular a quantidade de espiras. Vamos ver um exemplo com um indutor de 1mH com núcleo de ar.

$$N = \sqrt{\frac{10^8 \times L \times l}{1,257 \times A}}$$

onde: $10^8 = 100.000.000$ (sem mil)

L = valor do indutor em Henrys

l = comprimento máximo que queremos que o indutor tenha.

$1,257$ = constante magnética

A = área do núcleo doado em cm^2 .

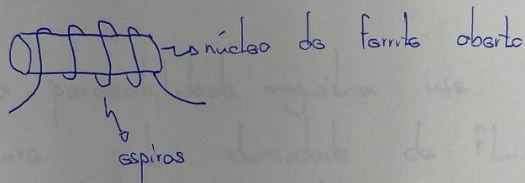
Vamos calcular um indutor de 1mH, com núcleo de ar, 4cm de comprimento e uma seção de $1,2 \text{ cm}^2$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,001 \times 4}{1,257 \times 1,2}} \Rightarrow N = \sqrt{\frac{400.000}{1,5084}} \Rightarrow N = \sqrt{265.181}$$

$N \approx 514$ espiras.

Daí você pergunta: Mas 514 espiras vão caber em 4cm? E eu respondo que sim, contanto que você faça um enrolamento sobre o outro. E a corrente? E a bitola do fio? Eu digo para você escolher um fio cuja bitola suporte a corrente que você precisa. Mas cadê o núcleo? Que em nosso caso é de Ferrite.

Para calcular um indutor com um núcleo aberto



a fórmula fica assim:

$$N = \sqrt{\frac{10^8 \times L \times l}{1,257 \times A \times \mu}}$$

onde: $10^8 = 100.000.000$ (cm m/L)

L = valor do indutor em Henry.

l = comprimento do indutor

$1,257$ = constante magnética

A = área do núcleo em cm^2

μ = permeabilidade magnética (ou facilidade de que o núcleo oferece a passagem das linhas de força do campo magnético)

Observe que:

B = densidade do Fluxo magnético (Gauss)

- μ = permeabilidade magnética = $\frac{B}{H}$ onde: H = força do campo magnético (Oersted)

- um valor calculado em mm^2 deve ser dividido por 100 para ser dado em cm^2 , isto devido ao quadrado ($\times^2$).

(4)

- normalmente o valor dado de largura de uma haste cilíndrica é dada como o diâmetro (ϕ), mas lembre-se que é o raio que vai na fórmula para calcular a área:

$$r = \frac{D}{2}$$

onde: r = raio
 D = diâmetro

$$A = \pi \times r^2$$

$$\pi = 3,14$$

A = área ou seção

- para calcular a permeabilidade magnética use os tabelas do fabricante. Procure pela densidade de Fluxo (B) para um determinado valor de força magnética (H ou O_e).

Dai pegue o valor de B e divida por O_e ou H .

$$\mu = \text{permeabilidade} = \frac{B}{H \text{ ou } O_e}$$

Exemplo:

$$\mu = \frac{B}{O_e} = \frac{500}{15} \approx 33,4 \rightarrow \text{Porém este valor corresponde a um certo } O_e \text{ que diz que por este indutor está passando uma corrente que não conhecemos.}$$

Exemplos

1º) A primeira coisa a fazer é encontrar um bestão de ferrite com o tamanho desejado e saber suas características magnéticas, de preferência μ (não μ_1 ou μ_2 ou μ_0) ou B e H ou B e O_e pois

$$\mu = \frac{B}{O_e}$$

- Saber a corrente para escolher a bitola do fio correto

- Calcular a área do núcleo
- Se necessário calcular μ (permeabilidade magnética)

Núcleo obtido

Fabricante: Thornton

Modelo: NBC-6/15-IP6

Comprimento = 15mm = l

diâmetro = 6mm

raio = 3mm

$$\mu = \frac{480}{15} = 32 \text{ as características do material IP6.}$$

$$A = 3,14 \times r^2 = 3,14 \times (0,3 \times 0,3) = 0,2826 \text{ cm}^2$$

Valor do indutor

300 μ H

Fio 29 AWG

$\phi = 0,287$ mm

$I \Rightarrow 250$ mA

$$N = \sqrt{\frac{10^8 \times L \times l}{1,257 \times A \times \mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,0003 \times 1,5}{1,257 \times 0,2826 \times 32}} \Rightarrow N = \sqrt{\frac{45.000}{11,36}}$$

$N = 62,9 \approx 63$ espiras $\pm 25\%$ devido a tolerância do núcleo e deficiência do enrolamento feito a mão.
É também devido ao fato de não levarmos em consideração a corrente pelo indutor.

2º Exemplo

(6)

núcleo adotado

mesmo núcleo anterior

Valor do indutor

$150 \mu H$

Fio 29 AWG

$\phi = 0,287 mm$

$I \Rightarrow 250 mA$

$$N = \sqrt{\frac{10^8 \times L \times Q}{4,257 \times A \times \mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,00015 \times 1,5}{4,257 \times 0,2826 \times 32}}$$

$$N = \sqrt{\frac{22.500}{11,36}}$$

$$N = \sqrt{1980}$$

$$N = 44,5 \approx 45 \text{ espiras} \pm 25\%$$

devido a tolerância do núcleo e deficiência no enrolamento feito a mão. E também pelo fato de não levarmos a corrente de pico do indutor em consideração.

3º Exemplo

Núcleo adotado

CNF - 7.5/10/2.7 - 36 - IP6

Valor do indutor

$300 \mu H$

Fio 29 AWG

$\phi = 0,287 mm$

$$I \Rightarrow 250 \text{ mA}$$

⑦

Como este núcleo fornece o Fator de indutância (AL), que corresponde ao valor 36 no código do núcleo, que é um capacitor, utilizamos a expressão:

$$N = \sqrt{\frac{L}{AL}}$$

onde: L = valor do indutor em nH.

AL = Fator de indutância

N = número de espiras

$$N = \sqrt{\frac{300.000}{36}}$$

→ A tolerância do AL é de $\pm 10\%$, ou seja, seu valor pode ficar entre 32,4 e 39,6.

$$N = 91,28 \text{ espiras.}$$

Observações:

1- Quando mostramos a tolerância de ± 25 por cento, na grande maioria das vezes somamos 20% ao número de espiras calculado.

2- A tolerância de $\pm 25\%$ se deve também a dificuldades de se estabelecer o valor preciso de μ ou da permeabilidade magnética $\left(\frac{B}{H}\right)$ devido a não contarmos os correntes.

3- Todos os exemplos aqui apresentados dão certo dentro de suas tolerâncias.

4- Treino bastante.

5- Leva o restante...

(8)

Mas quando vamos calcular um indutor normalmente não sabemos a corrente que vai passar pelo indutor. Digo isto baseado na prática: Você compra um IC e o Fabricante diz para você usar um indutor de 100µH, mas como calcular isto?

Como já dissemos você deve usar as características do núcleo, usar um fio que suporte a corrente que passará pelo indutor (se é uma fonte de 1A, ele deve suportar uma corrente superior a 1A).

E lembrar que, você precisa saber a permeabilidade magnética ou μ do material do núcleo, mas como μ depende da corrente e ~~esta~~ ~~que~~ ~~apenas~~ esta corrente pode mudar com o funcionamento da fonte e você quer apenas calcular um indutor de 100µH, medir em uma ponte RCL e ver que o valor está correto ou dentro da tolerância do núcleo, faça o seguinte:

- Use μ_1 em vez de μ .
- μ_1 correspondente a μ (permeabilidade magnética) quando a intensidade do campo magnético tende a zero, portanto, sem corrente.
- μ_1 é chamada de permeabilidade inicial (sem corrente).
A equação fica assim:

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times L \times l}{1,257 \times 10^{-2} \times A \times \mu_1}}$$

- Se a corrente é ϕ nós consideramos $\mu_1 = \mu$. Mas perdemos os teóricos.

3. Adotando um núcleo, cujo material tenha estas características:

$$\text{Material} = \text{IPb}$$

$$\mu = 2000 \pm 25\% = \text{permeabilidade inicial}$$

E a μ é facilmente encontrada nos catálogos dos fabricantes

Calculamos nesse indutor de $100\mu\text{H}$, usando um fio 29 AWG.

$$\text{Fio 29 AWG: } \phi = 0,287\text{ mm}$$

E com um núcleo de:

$$\phi = 3,3\text{ mm}$$

$$R = 1,65\text{ mm}$$

$$A = 0,08548\text{ cm}^2$$

$$L = 1,35\text{ cm}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times L \times \mu}{1,257 \times 10^{-2} \times A \times \mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,001 \times 1,35}{1,257 \times 10^{-2} \times 0,08548 \times 2000}}$$

$$N = \sqrt{\frac{13500}{2,1489}}$$

$N = 79$ espiras. Mas leve em consideração a percentagem de μ que é, deste fabricante, de $\pm 25\%$.

Vamos calcular outro indutor:

10

Características do núcleo:

material IPb.

$\mu = \text{permeabilidade inicial} = 2000 \pm 25\%$

$\phi = 3,3\text{mm}$

$R = 1,65\text{mm}$

$A = 0,08548\text{cm}^2$

$l = 13,5\text{mm}$ e l é dado em cm

Características do indutor:

$L = 300\mu\text{H}$ e L é dado em nH.

Fio 29 AWG = 0,287mm de diâmetro

Vamos calcular:

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times L \times l}{1,257 \times 10^{-2} \times A \times \mu}}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,0003 \times 1,35}{1,257 \times 10^{-2} \times 0,08548 \times 2000}}$$

$$N = \sqrt{\frac{40500}{2,1489}}$$

$N = 137$ espiras e vamos aplicar a tolerância e ver o
quando pode variar o número de espiras.

$$\mu_t = 2000 + 25\% \Rightarrow 2500$$

$$\mu_t = 2000 - 25\% \Rightarrow 1500$$

(11)

$$N_{+25} = \sqrt{\frac{40500}{2,6863}}$$

$$N_{+25} = 122 \text{ espiras}$$

ou

↳ lembre-se que para $\mu_t = 2000$ o número (N) de espiras era de 137.

$$N_{-25} = \sqrt{\frac{40500}{1,6117}}$$

$$N_{-25} = 158 \text{ espiras}$$

Último exemplo:

Material do núcleo:

IP6

$$\mu_t = 2000 \pm 25\%$$

Código do núcleo:

$$CNF - 7.5/10/2.7 - 36 - IP6 \pm 10\%$$

$$\Phi = 2,7 \text{ mm}$$

$$R_z = 1,35 \text{ mm} = 0,135 \text{ cm}$$

$$A = 3,14 \times (\Phi,135 \times 0,135)$$

$$A = 0,0572265 \text{ cm}^2$$

Características do indutor:

300 μH

Fio 29 AWG

$$\Phi \text{ do Fio} = 0,287 \text{ mm}$$

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000. \times L \times Q}{1,257 \times 10^{-2} \times A \times \mu_1}}$$

13

$$N = \sqrt{\frac{100.000.000 \times 0,0003 \times 0,56}{1,257 \times 10^{-2} \times 0,0572265 \times 2000}}$$

$$N = \sqrt{\frac{16.800}{1,43867}}$$

$$N = 108 \text{ espiras}$$

Vamos usar a tolerância:

$$N_{+2\sigma} = \sqrt{\frac{16.800}{1,7983}}$$

$$N_{+2\sigma} = 96 \text{ espiras}$$

ou

$$N_{-2\sigma} = \sqrt{\frac{16.800}{1,0790}}$$

$$N_{-2\sigma} = 124 \text{ espiras}$$

Ou seja o número de espiras pode estar entre

96 a 124 espiras.

Agora ~~bacha~~

Bibliografia

13

- Formulário de Eletônica
Apelton Fanzeros
1983
- Formulário de Eletônica
Francisco Vassalo
1994
- Manual Thornton
Baixado da net gratuitamente
- Formulário segundo Luiz Bertini
Luiz Bertini
1983
- Testes e medições Feitas entre 1983 e 2008.
- Satisfy Yourself

The End