



APLICATIVO PARA CÁLCULO FÍSICO DE INDUTORES COM NÚCLEO DO TIPO “E” UTILIZANDO LINGUAGEM DE ALTO NÍVEL

Cleiton Gili – cgilinet@gmail.com
Luiz Carlos Gili – luizcarlosgili@gmail.com
Laio Oriel Seman – laioseman@gmail.com
Sérgio Vidal Garcia Oliveira – svgo@furb.br
Adriano Péres – aperes@furb.br
Universidade Regional de Blumenau – FURB
Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca
89030-000 – Blumenau – SC

***Resumo:** Cada vez mais os computadores estão presentes em nossas vidas, facilitando tarefas que antes eram complicadas e exigiam tempo. Com isso criar um programa que possa agilizar e facilitar o cálculo dos parâmetros físicos de indutores se mostrou bastante útil, possibilitando ao usuário mais tempo disponível para a realização de outras tarefas tais como: estudos analíticos mais aprofundados e maior agilidade na troca de variáveis para efetuar recálculo em caso de falha de projeto. Apresenta-se neste trabalho o desenvolvimento de um aplicativo para cálculo de indutores realizado por alunos de graduação com auxílio de mestrando e a supervisão de docentes.*

***Palavras-chave:** Projeto de Indutor, Programação, C#, Efeito Pelicular.*

1. INTRODUÇÃO

Mensurar certos componentes de um projeto é uma ação bastante repetitiva, que envolve sempre os mesmos cálculos com apenas ligeiras mudanças de variáveis. Ações repetidas causam cansaço e acabam sendo mais suscetíveis a erros do que outras. Calcular os parâmetros físicos de indutores é uma dessas ações e, foi visando praticidade e economia de tempo que se idealizou alguma forma de agilizar esse processo.

A interação com um computador é tão rotineira na vida de um projetista, que nada melhor do que tornar esse processo possível através de um programa leve e que facilmente permite modificações conforme as necessidades dos usuários. Vários passos precisaram ser executados para que a ideia fosse posta em prática, desde a escolha de uma linguagem de programação adequada, até a implementação de equações e tabelas de fios.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Indutor

Um indutor é um dispositivo elétrico passivo que armazena energia na forma de campo magnético, normalmente combinando o efeito de vários laços da corrente elétrica

Realização:



Organização:





(WIKIPEDIA, 2012). Indutor é geralmente construído como uma bobina de material condutor, por exemplo, fio de cobre. Um núcleo de material ferromagnético pode ser utilizado para aumentar a indutância concentrando as linhas de força do campo magnético que fluem pelo interior das espiras. Indutância é a grandeza física associada aos indutores, é simbolizada pela letra L , medida em Henry (H).

Este trabalho aplica-se somente ao cálculo de indutores com núcleos do tipo “E”. Nesse tipo de núcleo existem dois parâmetros que são fundamentais para o dimensionamento do indutor. O primeiro parâmetro é a medida da área da perna central, conforme mostrado na Figura 1 e o segundo é o da área da janela do carretel, conforme mostra a Figura 2. A Figura 3 mostra a foto de um indutor montado com a especificação de seus elementos constituintes.

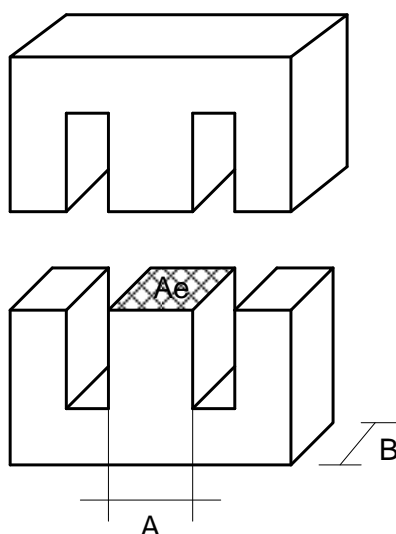


Figura 1 - Área da seção central do núcleo (A_e)

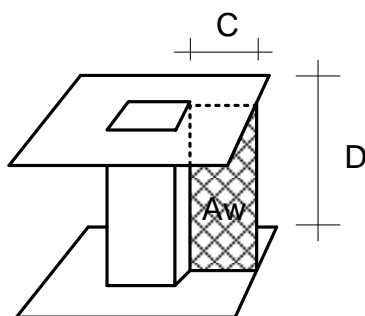


Figura 2 - Área da janela do carretel (A_w)

2.2. Linguagem de programação

A decisão de criar um programa vem sempre seguida da tarefa de se escolher uma linguagem de programação. Uma linguagem pode ser facilmente escolhida pelo gosto pessoal do programador ou ser um padrão de utilização em projetos específicos. Por não ser atrelada a nenhuma causa que obrigasse uma linguagem específica, a linguagem C# foi escolhida por ser de alto nível e conter um vasto conteúdo de material disponível em livros e internet (DEITEL, 2003). Uma IDE (*Integrated Development Environment*) também foi selecionada, por incluir em um só lugar um compilador e ferramentas capazes de facilitar o processo. O *Microsoft*



Visual C# Express 2010 (Figura 4) foi escolhido por ser da própria empresa mantedora da linguagem e suprir facilmente as necessidades apresentadas.

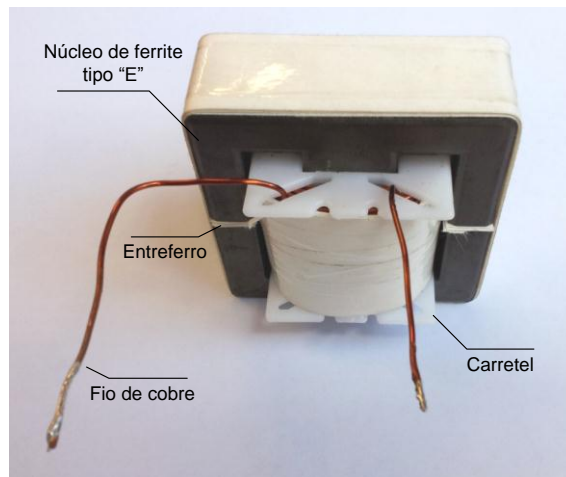


Figura 3 – Foto de um indutor montado

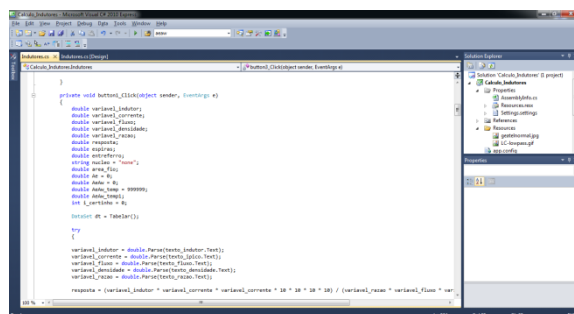


Figura 4 - Microsoft Visual C# Express 2010

2.3. Equacionamento

Tendo definidas as necessidades e as ferramentas utilizadas para supri-las é importante também definir quais equações serão utilizadas no projeto (GROVER, 2004). O projeto físico do indutor é baseado nas Leis de Ampère (1) e de Faraday (2) (BARBI, 2001).

Também são relações importantes a relação volt-ampère no indutor (3) e a relação entre indução magnética e campo magnético (4). Ao igualar as equações fundamentais (3) e (4) chega-se a expressão (5), utilizada para determinar o número de espiras do indutor.

$$I = \int H \cdot dl = H \cdot l = N \cdot i \quad (1)$$

$$v(t) = N \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2)$$

$$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (3)$$

$$B = \mu_0 \cdot H \quad (4)$$

$$N = \frac{L \cdot I_{pico}}{B_{max} \cdot Ae} \quad (5)$$



Outra equação fundamental para o desenvolvimento geral é a relação entre a área da seção central do núcleo (A_e) e a área da janela do carretel (A_w) (6).

A utilização de núcleos do tipo “E” necessita de um entreferro na junção dos dois núcleos. Essa distância entre as duas partes do núcleo é responsável pela acumulação da energia magnética do indutor e pode ser calculada pela expressão (7).

$$A_e A_w = \frac{L \cdot I_{pico} \cdot I_{eficaz}}{B_{max} \cdot j_{max} \cdot k_w} \cdot 10^4 \quad (6)$$

$$l_{entreferro} = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A_e}{L} \cdot 10^{-2} \quad (7)$$

Também foi essencial incluir no projeto o cálculo da possibilidade de execução, para descobrir se fisicamente é possível obter-se tantas espiras de fio de cobre dentro de um carretel (8), sendo que $A_{w_{min}}$ pode ser definido por (9).

$$Exec = \frac{A_{w_{min}}}{A_{w_{núcleo}}} < 1 \quad (8)$$

$$A_{w_{min}} = \frac{N \cdot n_{condutores} \cdot S_{fio}}{K} \quad (9)$$

Por fim, deve ser considerado o efeito pelicular relativo à frequência e a bitola do fio envolvido, para tanto três equações se fazem necessárias. A equação (10) com um cálculo preliminar envolvendo a frequência de operação, a equação (11) envolvendo a área do fio utilizado e a expressão (12) que define o número de condutores que deverão ser enrolados em paralelo para evitar o efeito pelicular ou efeito *skin*.

$$\Delta = \frac{7.5}{\sqrt{f}} \quad (10)$$

$$S_{fio} = \frac{I_{eficaz}}{J_{max}} \quad (11)$$

$$n_{condutores} = \frac{S_{cond}}{S_{skin}} \quad (12)$$

2.4. Processo de Funcionamento

Torna-se disponível ao usuário uma interface (Figura 5) onde se é capaz de entrar com os dados do indutor. O programa realiza os cálculos através das equações (1) a (12) e diversas comparações responsáveis por encontrar um núcleo e uma bitola de fio adequada ao projeto.

Como a tabela de fios AWG é universal, ela pode ser incluída diretamente no banco de dados do programa sem maiores problemas, entretanto, o mesmo não se pode afirmar para os núcleos, já que além de existir diversos modelos, tanto comerciais quanto não comerciais, também não se sabe quais estão disponíveis ao utilizador no momento do uso. Para solucionar esse problema, um arquivo externo, conforme mostrado na Figura 6, de fácil acesso, foi



criado. Neste arquivo o usuário define através de quatro parâmetros os dados do núcleo que possui, como: código de fabricante do núcleo, Ae, Aw e AeAw.

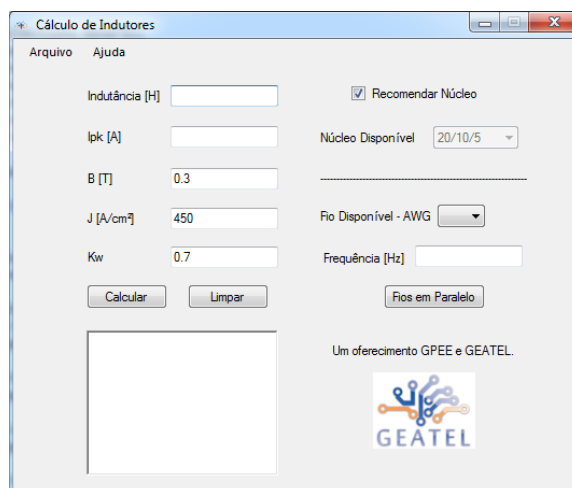


Figura 5 - Tela principal do programa

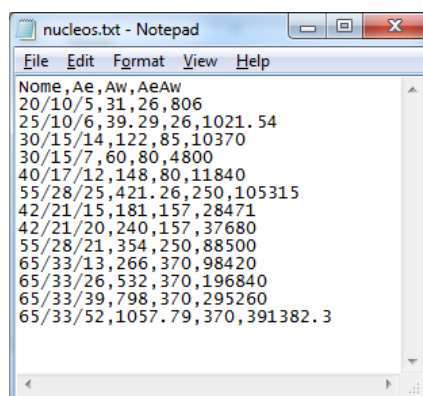


Figura 6 - Definição dos núcleos

Para facilitar a escolha e definição de núcleos, o aplicativo apresenta duas opções ao usuário: recomendar ou não um núcleo. Caso a recomendação de núcleo esteja ativada, uma busca é realizada através de comparações no arquivo externo para descobrir qual AeAw está mais próxima da calculada pelo aplicativo. Já se essa opção estiver desabilitada, o programa faz todos os cálculos para o núcleo selecionado, o que caso não seja feito com cuidado, pode levar a uma solução que não seja de execução possível, o que é também informado pelo programa. Um fluxograma que representa o funcionamento geral do aplicativo é apresentado na Figura 7.

2.5. Salvando Resultados

É disponibilizado também ao usuário a opção de salvar todos os resultados gerados durante uma sessão de utilização do programa em um arquivo de texto, conforme mostrado na Figura 8.

Na Figura 9 é possível verificar o formato no qual o *log* da sessão é gerado. Esse arquivo permite ao usuário fazer a impressão para auxiliar na montagem do indutor.

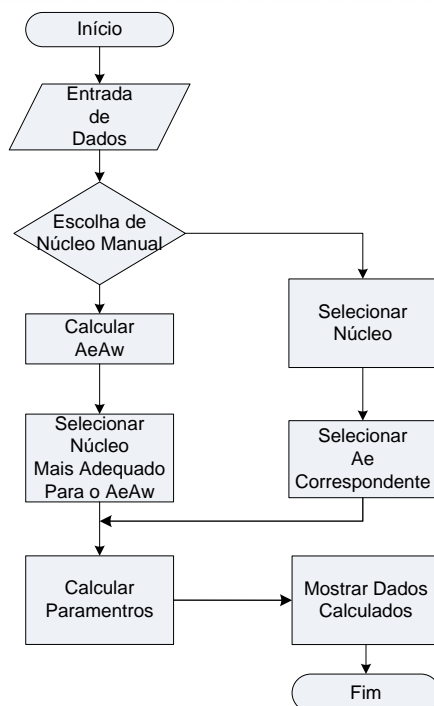


Figura 7 - Fluxograma de funcionamento

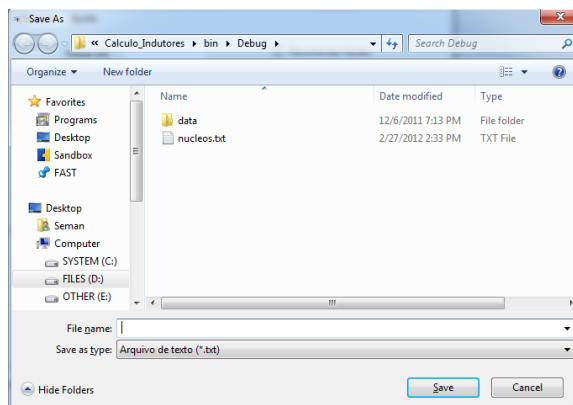


Figura 8 - Janela de salvar sessão

2.6. Salvando Resultados

A última opção disponível ao usuário é a possibilidade de fazer o cálculo do número de condutores em paralelo necessários para o correto funcionamento do indutor. Para isso dois parâmetros apenas são necessários, o fio AWG a ser utilizado e a frequência na qual o indutor será utilizado, o resultado é apresentado conforme a Figura 10.

3. EXEMPLO DE CÁLCULO

Para atestar o correto funcionamento do programa, foram escolhidos alguns valores:

- $L = 12 \mu\text{H}$
- $I = 12 \text{ A}$
- $B = 0.3 \text{ T}$



- $J = 450 \text{ A/cm}^2$
- $K_w = 0.7$

Com a opção de recomendação ativada para uma lista de núcleos disponíveis, os resultados foram obtidos conforme mostrado na Figura 11.

```
log.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Núcleo = 30/15/7
AeAw = 0.183 cm^4
Espiras = 9
Entreferro = 0.04 cm
Fio Recomendado = AWG 13
Área do Fio = 0.02667 cm^4
Possib. de execução = Sim
=====
Núcleo = 30/15/7
AeAw = 0.154 cm^4
Espiras = 8
Entreferro = 0.034 cm
Fio Recomendado = AWG 13
Área do Fio = 0.02444 cm^4
Possib. de execução = Sim
=====
Núcleo = 20/10/5
AeAw = 0.02 cm^4
Espiras = 6
Entreferro = 0.009 cm
Fio Recomendado = AWG 18
Área do Fio = 0.00889 cm^4
Possib. de execução = Sim
=====
Núcleo = 20/10/5
AeAw = 0.046 cm^4
Espiras = 9
Entreferro = 0.019 cm
Fio Recomendado = AWG 16
Área do Fio = 0.01333 cm^4
Possib. de execução = Sim
=====
```

Figura 9 - Log da sessão



Figura 10 - Cálculo de condutores em paralelo

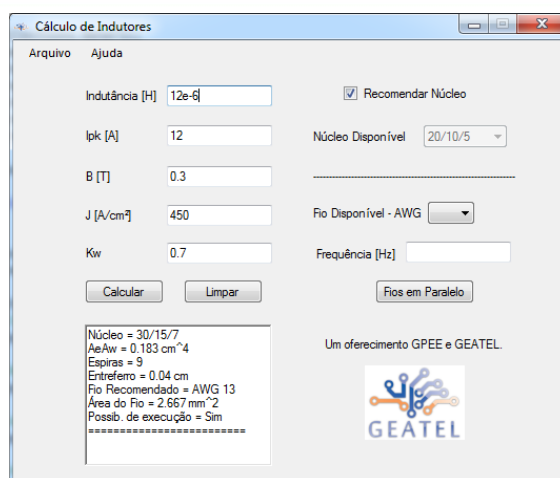


Figura 11 - Teste para valores pré-definidos

De acordo com os cálculos e comparações executados pelo aplicativo, os melhores parâmetros para a construção do indutor se mostraram conforme segue:

- Núcleo = E 30/15/7
- $AeAw = 0.183 \text{ cm}^4$
- Espiras = 9
- Entreferro = 0.04 cm
- Fio Recomendado = AWG 13
- Área do Fio = 0.02667 cm^2
- Possibilidade de execução = Sim

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram mostradas as principais equações para o cálculo físico de indutores utilizando núcleos do tipo “E” de forma a automatizar o processo de cálculo. As equações foram compiladas em um aplicativo que executa uma sequência lógica de etapas. O aplicativo foi criado utilizando-se linguagem C#, o que permitiu uma boa interface gráfica e amigável ao usuário. O Programa foi testado e aplicado no cálculo de indutores utilizados em filtros de conversores, no qual se mostrou funcional e mais rápido do que manipulações manuais dos cálculos.

As atividades desenvolvidas com o trabalho permitiram a integração entre a graduação e a pós-graduação, favorecendo o intercâmbio de conhecimentos e permitindo a aplicação de técnicas e procedimentos não corriqueiros em cursos de graduação.

Para futuros projetos sugere-se a implementação, também, do cálculo de transformadores através do aplicativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBI, Ivo. **Eletrônica de potência: Projetos de fontes chaveadas**. Edição do autor, Florianópolis, 2001, 332 p, il.

DEITEL, Harvey M. **C# como programar**. São Paulo: Pearson Education, 2003. xliii, 1153p, il. +, 1 CD.



GROVER, Frederick Warren. **Inductance calculations: working formulas and tables.** Mineola, N.Y: Dover Publications, 2004. xiv, 286 p, il.

WIKIPEDIA. **Indutor.** Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Indutor&oldid=29217390>>. Acesso em: 12 de março de 2012.

SOFTWARE FOR CALCULATION OF PHYSICAL CORE INDUCTORS OF TYPE "E" USING HIGH-LEVEL LANGUAGE

Abstract: *Computers are present in our lives solving problems that before were complicate and much time was dispose. For this, make software that calculate the inductor physical parameters shown an easy work, allowing the user more time available for other tasks such as greater flexibility in the change of variables to perform recalculation in the event of project failure. It is presented in this work a software development for inductors calculation realized by undergraduates with the aid of a master degree student and the supervision of professors.*

Key-words: *Inductor design, Programming, C #, Skin effect.*