

# CÁLCULO DAS PERDAS DE COMUTAÇÃO NO FERRO DO INDUTOR

TIARLES GUTERRES<sup>1</sup>

## SUMÁRIO

1	Introdução	2
2	Objetivos	3
3	Desenvolvimento	4
4	Resultados	5

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de perdas apresentado para a série SK-Core de indutores. Fonte: [1]	2
Figura 2	(a) Relação $B \times H$ que mostra a obtenção dos <i>quasi-loops</i> e (b) as áreas $S_1$ e $S_2$ que são somadas para formar o gráfico da Figura 1. Fonte: [1]	2
Figura 3	Vista geral do esquema de teste para o <i>Half-Bridge</i> monofásico.	3
Figura 4	Trecho de código com as coordenadas para obtenção dos polinômios do mapa de perdas.	4
Figura 5	Curvas da (a) Tensão no indutor e (b) comando da chave S.	4
Figura 6	Polinômios do artigo [1] interpolados com os pontos da Figura 4.	5
Figura 7	Métricas utilizadas para a busca no mapa de perdas.	5

---

<sup>1</sup> Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC), UFSM, Santa Maria, Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

Nos trabalhos [1] e [2] é abordado o problema do cálculo das perdas nos indutores. A proposta é a partir do *mapa de perdas*, Figura 1, específico de um indutor testado e das curvas obtidas no conversor modulado calcular as perdas no ferro do componente magnético.

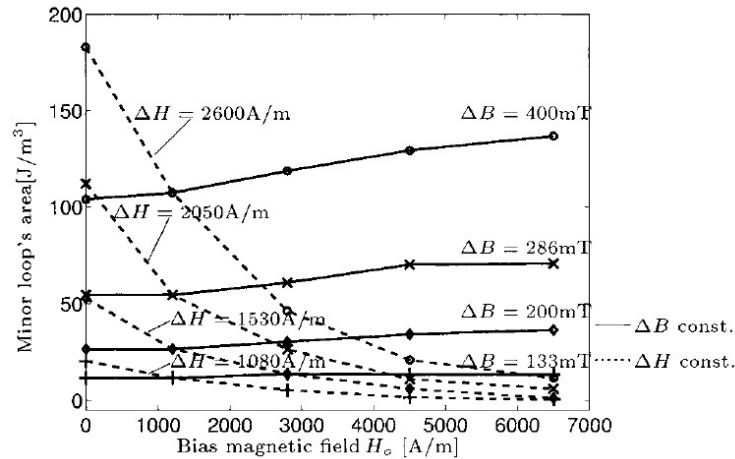


Figura 1: Mapa de perdas apresentado para a série SK-Core de indutores. Fonte: [1]

Esse mapa é criado em ensaios que tabelam as áreas formadas pelos "Minor loop's" [1], que são trechos descontínuos da variação do fluxo magnético no indutor (Figura 2)

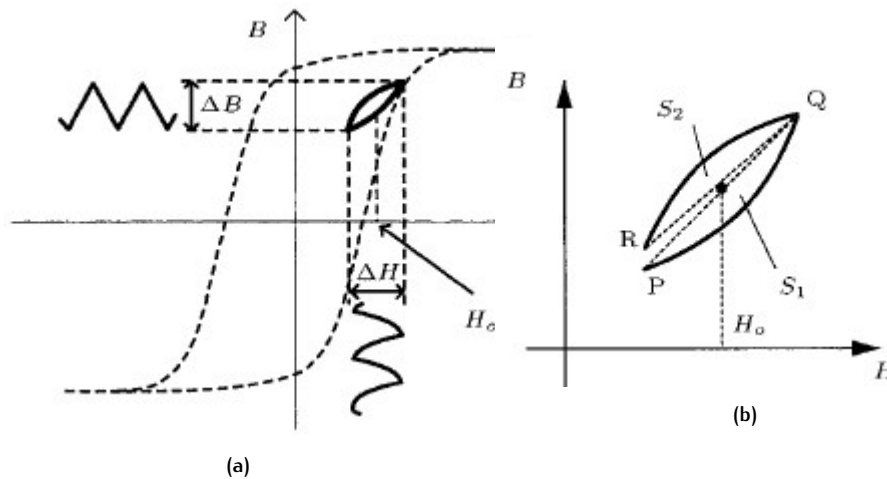


Figura 2: (a) Relação  $B \times H$  que mostra a obtenção dos *quasi-loops* e (b) as áreas  $S_1$  e  $S_2$  que são somadas para formar o gráfico da Figura 1. Fonte: [1]

O indutor testado no artigo citado foi da série SK-Core da empresa TOHO ZINC CO. LTD., os parâmetros do indutor estão mostrados na Tabela 1.

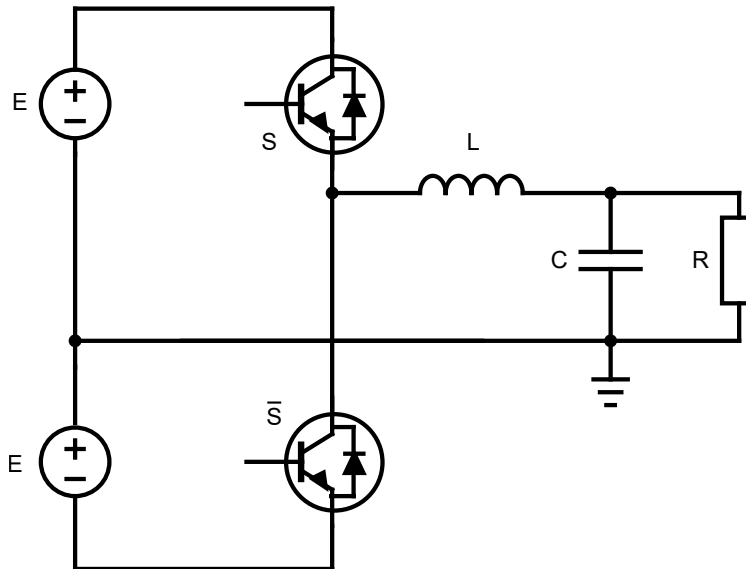
**Tabela 1:** Caracterização do indutor da série SK-Core utilizado para gerar o mapa de perdas.

Material do núcleo	Núcleo de ferro em pó compactado
Forma	Toroidal
Comprimento efetivo do caminho magnético, $l_e$	61.24 mm
Área efetiva da seção transversal, $S_e$	74.19 mm <sup>2</sup>
Volume, $V_e$	4543 mm <sup>3</sup>
Peso, $M$	32 g
Número de espiras	50 voltas
Indutância	266 $\mu$ H

## 2 OBJETIVOS

A partir da planta de testes escolhida, *half-bridge* monofásico (Figura 3) com modulação baseada em portadora (*carrier based*), criar um código para:

1. Criar os polinômios para o mapa de perdas, será utilizado o mapa de perdas da Figura 1.
2. Descrição das equações que verificam qual das curvas presentes na Figura 1 serão utilizadas para cada  $\Delta B$  ou  $\Delta H$  calculados e qual dos pontos de deslocamento (*bias*) do campo magnético ( $H_o$ ) será usado para contribuir no cálculo de perdas.
3. E a simulação do circuito *half-bridge* com os parâmetros da Tabela 2.

**Figura 3:** Vista geral do esquema de teste para o *Half-Bridge* monofásico.**Tabela 2:** Tabela com os valores dos componente do circuito da Figura 3.

Componente	Unidade	Medida
E	25	V
L	266	$\mu$ H
C	100	$\mu$ F
R	1	$\Omega$

### 3 DESENVOLVIMENTO

Analisando o mapa de perdas do artigo [1] foi obtido alguns pontos para a interpolação dos polinômios. A Figura 4 mostra um trecho do código em que as coordenadas foram descritas.

```
dH = {2600: [(-12.289,183.66),(1187.1,109.38),(2804.4,50.625),(4505.3,26.339),(6535.5,16.429)],
      2050: [(-11.954,114.19),(1197.7,58.045),(2825.8,31.055),(4523.2,16.176),(6526.6,11.159)],
      1530: [(-7.1721,56.228),(1197.7,30.969),(2813.9,18.512),(4523.2,11.246),(6543.4,5.9689)],
      1080: [(-2.3907,24.74),(1200.1,16.263),(2818.6,10.64),(4518.4,7.0934),(6531.4,5.7093)]}

dB = {400e-3: [(-16.735,106.14),(1193,109.86),(2811.5,120.76),(4518.4,131.23),(6517.1,138.15)],
      286e-3: [(-4.7814,58.045),(1195.4,58.045),(2809.1,64.446),(4520.8,73.702),(6529,74.135)],
      200e-3: [(0,30.882),(1193,31.142),(2813.9,34.256),(4518.4,38.668),(6529,40.744)],
      133e-3: [(-4.7814,16.09),(1212.1,16.349),(2821,18.685),(4523.2,17.82),(6533.8,17.993)]}
```

Figura 4: Trecho de código com as coordenadas para obtenção dos polinômios do mapa de perdas.

Após esta etapa os polinômios foram gerados para que a busca com os valores de  $\Delta H$ ,  $\Delta B$  e  $H_o$  pudessem ser realizados. A seguir, o circuito, utilizando a mesma indutância mostrada na Tabela 1 foi simulado para obtenção da tensão sobre o indutor  $V_{L_1}$  e o comando da chave d. As curvas obtidas nestas medidas estão nas Figuras 5a e 5b.

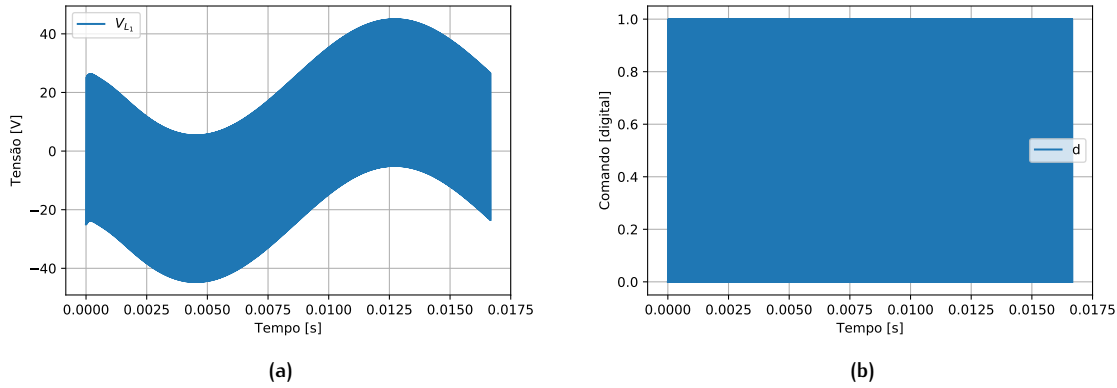


Figura 5: Curvas da (a) Tensão no indutor e (b) comando da chave S.

Esses dois sinais foram utilizados para calcular as grandezas magnéticas do indutor, como regem as equações para a densidade do fluxo magnético (1)), para o campo magnético (equação (2)) e para o desvio (ou *bias*) do campo magnético (equação (3)):

$$\Delta B = \frac{V_L d}{N f_s A} \quad (1)$$

$$\Delta H = \frac{V_L d}{\mu_0 N f_s A} \quad (2)$$

$$H_o = \frac{N d V_i}{R l}, \quad (3)$$

em que  $V_L$  é a tensão no indutor  $L$ ,  $d$  é a razão cíclica da chave  $S$ ,  $N$  é o número de espiras do projeto.

## 4 RESULTADOS

Utilizando o código mostrado na Figura 4 foram obtidos polinômios semelhantes ao da Figura 1.

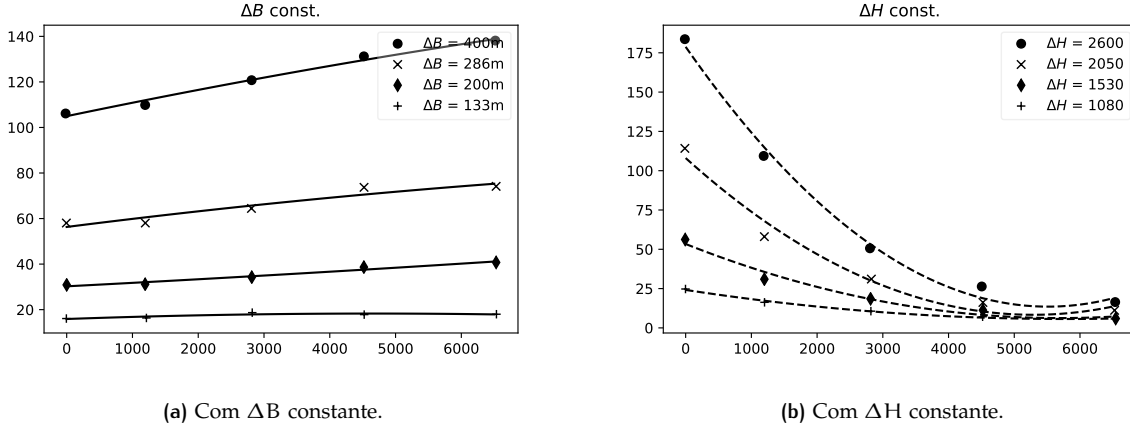


Figura 6: Polinômios do artigo [1] interpolados com os pontos da Figura 4.

Com a equação (1) foi obtido a densidade do fluxo magnético no indutor (Figura 7a), este sinal foi utilizado em conjunto com o valor de desvio do campo magnético (Figura 7b) para calcular o somatório das áreas *Minor Loops* com o valor em  $J/m^3$ .

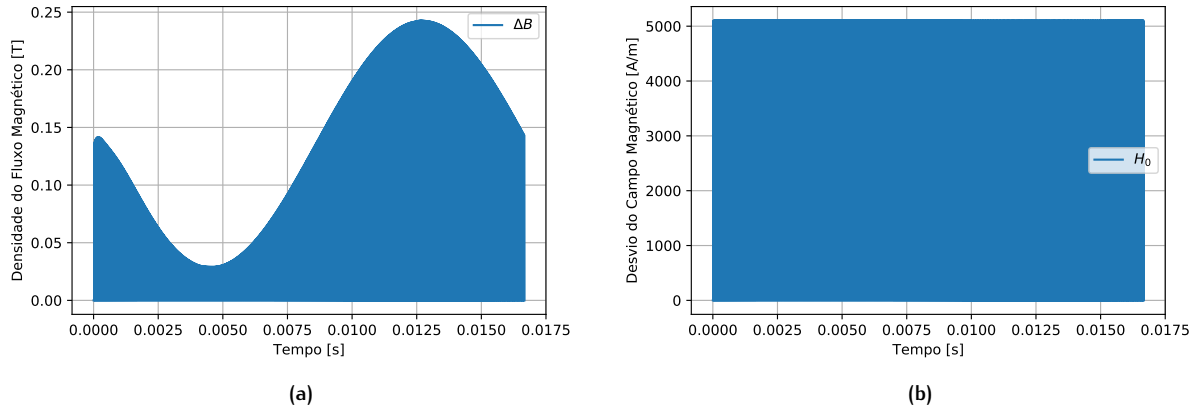


Figura 7: Métricas utilizadas para a busca no mapa de perdas.

Por fim, utilizando a equação (4) que relaciona o tempo de duração dos sinais captados, o somatório das perdas obtidas no mapa de perdas por ΔB e H<sub>0</sub> e o volume do indutor 1 a potência calculada considerando os sinais simulados foi de 0.43 Watts.

$$P = \sum \text{lossMap}(\Delta B, H_0) * (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) * v_{\text{toroide}} \quad (4)$$

## REFERÊNCIAS

- [1] S. Iyasu, T. Shimizu, and K. Ishii. A novel iron loss calculation method on power converters based on dynamic minor loop. In *2005 European Conference on Power Electronics and Applications*, pages 9 pp.–P.10, Sep. 2005.
- [2] Yoshihiro Miwa, Toshihisa Shimizu, Koushi Takano, and Hitoshi Ishii. Calculating the iron losses in gapped inductors using the loss-map method. *IEEJ Journal of Industry Applications*, 8:57–65, 01 2019.