

# FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

**E21**

## ELECTROMAGNETISME (1)

**INTENSITE DE CHAMP MAGNETIQUE : Force exercée sur un corps magnétique.**

Un courant électrique I en ampères (A) engendre une intensité de champ magnétique H en ampères par mètre (A/m) (dans le vide ou dans l'air) :

- à un point p placé à une distance d en mètres (m) d'un conducteur de courant (fig. 1) ;

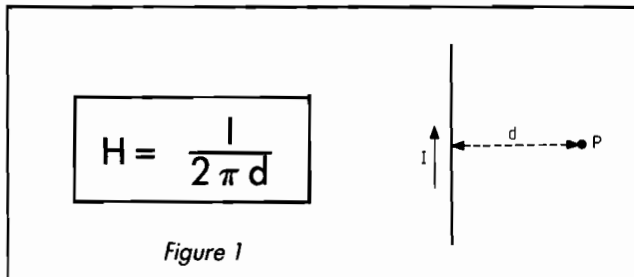


Figure 1

- au centre p d'une spire de diamètre D en mètres (m) parcourue par un courant (fig. 2) ;  
- sur l'axe d'un solénoïde de longueur l en mètres (m) comportant N spires parcourues par un courant (fig. 3).

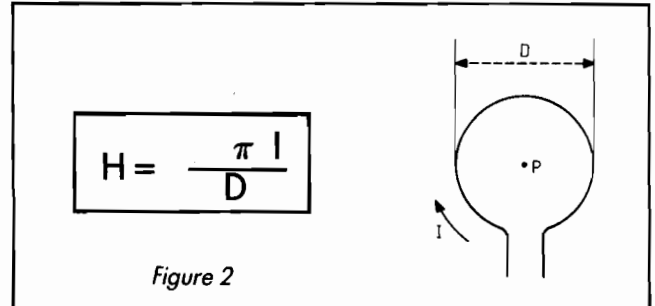


Figure 2

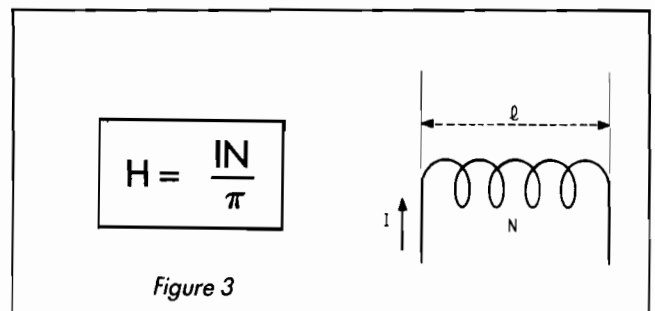


Figure 3

**E22**

## ELECTROMAGNETISME (2)

**FLUX MAGNETIQUE : Flux de l'induction B à travers une surface S.**

(Le flux magnétique caractérise la quantité de lignes de force à travers une surface donnée.)

$$\Phi = B \cdot S$$

$\Phi$  = flux d'induction magnétique en webers (Wb)

B = induction magnétique en teslas (T)

S = surface en mètres carrés (m<sup>2</sup>).

Le flux d'induction magnétique peut être créé pour un courant I traversant un bobinage de N spires.

$$\Phi = \frac{IN}{R}$$

I = intensité du courant dans le bobinage en ampères (A)

N = nombre de spires du bobinage

R = réluctance (pas d'unité spécifique)

**Remarques :**

1° Le produit I x N (nombre d'ampères-tours) est souvent appelé **force magnéto-motrice** (symbole : F).

2° On utilise souvent les sous-multiples du weber :

- le milliweber (1 mWb = 10<sup>-3</sup> Wb)

- le microweber (1 μWb = 10<sup>-6</sup> Wb)

**Application numérique**

Un bobinage de 1 000 tours est traversé par 0,25 A. Le flux d'induction magnétique est de 5 mWb. Quelle est la valeur de la réluctance magnétique ?

On utilise la formule :

$$\Phi = \frac{IN}{R}$$

soit :

$$R = \frac{IN}{\Phi} = \frac{0,25 \times 1\,000}{5 \times 10^{-3}}$$

= 50 000 unités de réluctance magnétique

**TENSION INDUITE : Une variation de flux dans un solénoïde engendre aux bornes de celui-ci une tension proportionnelle à la vitesse de variation.**

$$e = - \frac{N \Delta \Phi}{\Delta t}$$

e = tension instantanée aux bornes du solénoïde en volts (V)

N = nombre de spires du solénoïde

$\Delta \Phi$  = variation de flux en webers (Wb)

$\Delta t$  = durée de la variation en secondes (s)

# FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

## Application numérique

Un solénoïde d'une longueur de 10 cm et comportant 500 spires est traversé par un courant de 1,2 A.  
L'intensité de champ magnétique sur l'axe du solénoïde est de :

$$H = \frac{1,2 \times 500}{0,1} = 6\ 000 \text{ A/m}$$

### Remarque :

En pratique, dans le cas de bobinages, on utilise comme unité l'**ampère-tour par mètre** (dans l'exemple précédent, l'intensité de champ magnétique est de 6 000 ampères-tours par mètre).

**INDUCTION MAGNETIQUE : Un corps magnétique placé dans un champ magnétique concentre les lignes de force.**

$$B = \mu H$$

B = induction magnétique en teslas (T)  
H = champ magnétique d'excitation en ampères par mètre (A/m)  
 $\mu$  = perméabilité magnétique (sans unité dans le système CG-SEM, pour le vide et l'air).

### Remarque :

La perméabilité  $\mu$  n'est pas constante et dépend en particulier du champ H et du matériau utilisé. Lorsque H augmente fortement, il y a saturation.

## Application numérique

Quelle est la valeur de  $\mu$  sachant que H = 5 000 A/m et B = 13 teslas ?

La perméabilité  $\mu$  est égale à  $\frac{B}{H}$  soit  $\frac{13}{5\ 000} = 2,6 \times 10^{-3}$ .

### Remarques :

1° On a longtemps utilisé le gauss comme unité d'induction magnétique.

$$1 \text{ tesla} = 10\ 000 \text{ gauss}$$

2° On utilise aussi comme unité d'induction magnétique le weber par mètre carré.

La formule se présente alors sous la forme :

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

$\Phi$  = flux d'induction en webers (Wb) (voir fiche Electromagnétisme (2))

S = section du circuit magnétique en mètres carrés (m<sup>2</sup>).

## Application numérique

Lorsqu'un flux magnétique est de 0,0025 Wb dans une section de 4 cm<sup>2</sup>, la densité de flux magnétique est de :

$$B = \frac{0,0025}{4 \times 10^{-4}} = 6,25 \text{ Wb/m}^2 \text{ ou } 6,25 \text{ T.}$$

NOTES .....

## Application numérique

Une variation linéaire de flux de 2 mWb d'une durée de 100 ms dans un solénoïde de 400 spires engendre aux bornes de celui-ci une tension de valeur :

$$e = - \frac{400 \times 2 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = -8 \text{ V}$$

## Conversion des anciennes unités magnétiques

Intensité de champ magnétique H  
1 œrsted (œ)  $\approx$  80 ampères par mètre  
1 ampère par mètre  $\approx$  12,5  $\times$  10<sup>-3</sup> œrsted

Induction magnétique B  
1 gauss (G) = 10<sup>-4</sup> teslas  
1 tesla = 10<sup>4</sup> gauss

Flux magnétique  $\Phi$   
1 maxwell (M) = 10<sup>-8</sup> webers  
1 weber = 10<sup>8</sup> maxwells

Force magnétomotrice F  
1 gilbert (Gb) = 2,5 ampères-tours  
1 ampère-tour = 0,4 gilbert

**E23**

## CIRCUITS MAGNETIQUES (SANS ENTREFER)

**RELUCTANCE :** La réluctance  $R$  est l'opposition au passage du flux dans un circuit magnétique.

$$R = \frac{l}{S \mu}$$

$R$  = réluctance (pas d'unité spécifique)  
 $l$  = longueur du circuit magnétique en mètres (m)  
 $S$  = section du circuit magnétique en mètres carrés (m<sup>2</sup>)  
 $\mu$  = perméabilité absolue du matériau constituant le circuit magnétique (sans unité).

**PERMEABILITE :** La perméabilité  $\mu$  caractérise la nature du milieu au point de vue magnétique.

On distingue :

$\mu_0$  = perméabilité absolue du vide, valable également pour l'air.

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$$

unité Si : henry par mètre ; CGSEM : gauss/CE.

$\mu_r$  = perméabilité relative d'un matériau (pour certains aciers  $\mu_r = 2\ 000$ , la perméabilité est 2 000 fois plus élevée que dans l'air).

$\mu$  = perméabilité absolue d'un matériau

$$\mu = \mu_0 \times \mu_r$$

### Application numérique

Si un circuit magnétique a les caractéristiques suivantes :

$$l = 24 \text{ cm}$$

$$S = 4 \text{ cm}^2$$

$$\mu_r = 2\ 000$$

la perméabilité absolue du matériau est :

$$\mu = 12,56 \times 10^{-7} \times 2\ 000 \text{ soit } 25 \times 10^{-4} ;$$

la réluctance est :

$$R = \frac{0,24}{4 \times 10^{-4} \times 25 \times 10^{-4}} = 240\ 000 \text{ unités de réluctance}$$

### Remarques :

1° Ne pas mélanger dans les calculs  $\mu$  (perméabilité) et  $\mu$  (rapport  $10^{-6}$ ).

2° Attention aux conversions cm<sup>2</sup> en m<sup>2</sup> et mm<sup>2</sup> en m<sup>2</sup>.

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m et } 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m et } 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

**PERMEANCE :** La perméance  $P$  est l'inverse de la réluctance.

$$P = \frac{1}{R}$$

La perméance n'a pas d'unité spécifique.

**E24**

## CIRCUITS MAGNETIQUES (avec entrefer)

**CIRCUITS MAGNETIQUES A ENTREFER :** La réluctance totale est égale à la somme de la réluctance dans le métal et de la réluctance dans l'air.

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_{\text{metal}} + \mathcal{R}_{\text{air}}$$

### Application numérique

Quelle est la densité de flux dans l'entrefer du circuit magnétique représenté ci-contre.

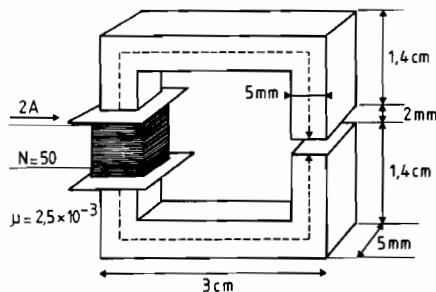


Figure 5

Pour connaître la valeur du flux dans le circuit magnétique, on applique la formule :

$$\Phi = \frac{I \times N}{\mathcal{R}} \text{ avec } \mathcal{R} = \mathcal{R}_{\text{metal}} + \mathcal{R}_{\text{air}}$$

La force magnétomotrice ( $I \times N$ ) est de 100 ampères-tours. La réluctance dans l'entrefer est donnée par la formule :

$$\mathcal{R}_{\text{air}} = \frac{l}{S \mu_0}$$

avec :

$$l = 2 \text{ mm, soit } 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ mm}^2, \text{ soit } 0,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mu_0 = 12,57 \times 10^{-7}$$

Ce qui donne :

$$\mathcal{R}_{\text{air}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{0,25 \times 10^{-6} \times 12,57 \times 10^{-7}}$$

soit  $0,63 \times 10^{10}$  unités de réluctance.

La réluctance dans le reste du circuit magnétique est donnée par la formule :

$$\mathcal{R}_{\text{metal}} = \frac{l}{S \mu}$$

avec :

$$S = 0,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mu = 2,5 \times 10^{-3}$$

La longueur moyenne du circuit magnétique (en pointillé sur le dessin) est de :

$$(2,5 \times 4) - 0,2 = 9,8 \text{ cm soit } 9,8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

# FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

## Application numérique

On considère un tore en acier de section circulaire dont les dimensions sont les suivantes :

diamètre extérieur : 8 cm

diamètre intérieur : 6 cm

diamètre de la section : 1 cm.

Ce tore est bobiné uniformément par 1 000 tours. L'enroulement est traversé par 2 A.

Quelle est la valeur de la réluctance, et celle de la perméabilité  $\mu$ , sachant que le flux est de 400 microwebers ?

La force magnétomotrice est de :  $2 \times 1\,000$  soit 2 000 ampères-tours.

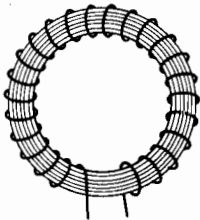


Figure 4

La formule  $\Phi = IN/R$  nous donne la valeur de la réluctance :

$$R = \frac{IN}{\Phi} = \frac{2\,000}{400 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^6 \text{ unités}$$

La perméabilité  $\mu$  peut être tirée de la formule :

$$R = \frac{l}{S\mu} \text{ soit } \mu = \frac{l}{SR}$$

avec :

$l$  = circonférence moyenne du tore  
=  $\pi \times 7$  soit 22 cm ou 0,22 m.

$S$  = surface de la section  
=  $\pi \times (0,5)^2 = 0,78 \text{ cm}^2$  ou  $0,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

La perméabilité est donc :

$$\frac{0,22}{0,78 \times 10^{-4} \times 5 \times 10^6} = 564 \times 10^{-6}$$

La perméabilité pourrait également être trouvée en calculant  $H (= IN/l)$  et  $B (= \Phi/S)$ , puis en faisant le rapport  $B/H$ .

$$H = \frac{2\,000}{0,22} = 9\,091 \text{ A/m}$$

$$B = \frac{400 \times 10^{-6}}{0,78 \times 10^{-4}} = 5,13 \text{ webers}$$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{5,13}{9\,091} = 564,10^{-6}$$

ce qui donne :

$$\mathcal{R}_{\text{metal}} = \frac{9,8 \times 10^{-2}}{0,25 \times 10^{-6} \times 2,5 \times 10^{-3}}$$

$$= 15,68 \times 10^7 \text{ unités de réluctance}$$

La réluctance totale est :

$$(0,63 \times 10^{10}) + (15,68 \times 10^7) \text{ ou } (6\,300 \times 10^6) + (156,8 \times 10^6)$$

$$= 6\,456,8 \times 10^6 \text{ unités de réluctance.}$$

Le flux magnétique est :

$$\Phi = \frac{100}{6\,456,8 \times 10^6} = 0,015 \mu \text{ webers}$$

La densité de flux dans l'entrefer est :

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,015 \times 10^{-6}}{0,25 \times 10^{-6}} = 0,06 \text{ tesla}$$

## Analogie entre un circuit électrique et un circuit magnétique

Force magnétomotrice :  $F = \Phi \times \mathcal{R}$

Flux magnétique :  $\Phi = \frac{F}{\mathcal{R}}$

Réluctance :  $\mathcal{R} = \frac{l}{S\mu}$  ou  $\frac{1}{S\mu}$

Perméance :  $\mathcal{P} = \frac{1}{\mathcal{R}}$

Intensité de champ magnétique (force magnétisante) :  $H = \frac{F}{l}$

Induction magnétique :  $B = \frac{\Phi}{S}$

Tension :  $V = I \times R$

Courant :  $I = \frac{V}{R}$

Résistance :  $R = \frac{l}{S\mu}$  ou  $\rho \frac{l}{S}$

Conductance :  $G = \frac{1}{R}$

Intensité de champ électrique :  $E = \frac{V}{l}$

Densité de courant :  $J = \frac{I}{S}$