Curso: Procesamiento Electrónico de Potencia

FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO

Continuación

Ing. Sergio A. Morales Hernández

Escuela de Ingeniería Electrónica
Tecnológico de Costa Rica

I Semestre 2021

AGENDA

1. CIRCUITO MAGNÉTICO

AGENDA

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère:

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère:

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère: $H(t)\ell_m = i(t)$).

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère: $H(t)\ell_m = i(t)$).
- Si analizamos Biot-Savart y Ampère, podríamos ver que hay una relación tal que $B \propto H$, donde la proporcionalidad la da μ_0

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

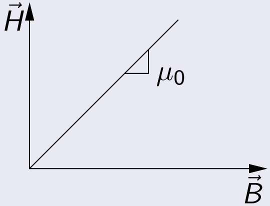
- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère: $H(t)\ell_m = i(t)$).
- Si analizamos Biot-Savart y Ampère, podríamos ver que hay una relación tal que $B \propto H$, donde la proporcionalidad la da μ_0

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA

Tenemos que (Biot-Savart)

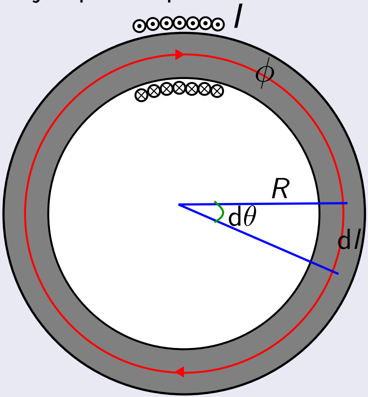
$$\mathrm{d}\vec{B} = \mu_0 I \frac{\mathrm{d}\vec{\ell} x \hat{r}}{4\pi R^2}$$

- Si observamos bien, hay una relación entre la densidad de campo B y la corriente eléctrica I.
- Recordemos que también hay una relación entre la corriente eléctrica y la intensidad de campo H (Ley de Ampère: $H(t)\ell_m = i(t)$).
- Si analizamos Biot-Savart y Ampère, podríamos ver que hay una relación tal que $B \propto H$, donde la proporcionalidad la da μ_0



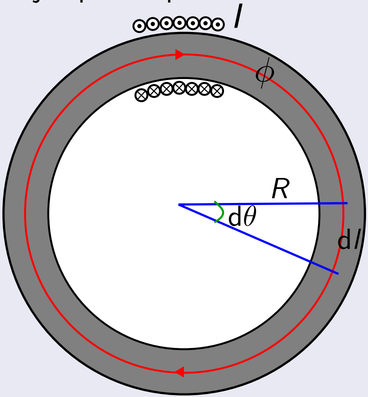
"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

Consideremos ahora un ejemplo simple: el toroide.



"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

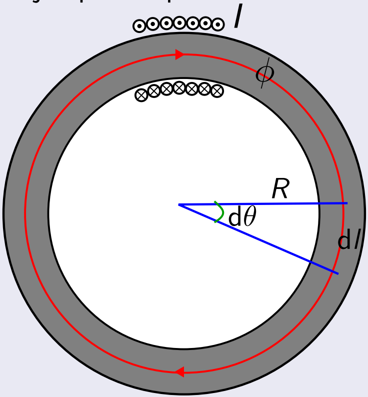
Consideremos ahora un ejemplo simple: el toroide.



Tomando la ecuación de la Ley de Ampère y sustituyendo $B = \mu_0 H$, tendremos

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

Consideremos ahora un ejemplo simple: el toroide.



Tomando la ecuación de la Ley de Ampère y sustituyendo $B = \mu_0 H$, tendremos

$$\oint B\mathrm{d}l = \mu_0 I$$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N I}{2\pi R}\hat{\theta}$$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

$$\phi = \frac{\mu_0 NIA}{\ell_m}$$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

$$\phi = \frac{\mu_0 NIA}{\ell_m}$$

Reacomodando la ecuación anterior, tenemos

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N I}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

$$\phi = \frac{\mu_0 N I A}{\ell_m}$$

Reacomodando la ecuación anterior, tenemos

$$\phi = \frac{NI}{\ell_m/(\mu_0 A)} =$$

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

$$\phi = \frac{\mu_0 NIA}{\ell_m}$$

Reacomodando la ecuación anterior, tenemos

$$\phi = \frac{NI}{\ell_m/(\mu_0 A)} = \frac{\mathscr{F}}{\ell_m/(\mu_0 A)}$$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

La densidad de campo, B, será constante dentro del toroide (*¿por qué?*) y $\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$, por lo que tendríamos

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R}\hat{\theta}$$

De la ecuación anterior, podemos definir que existe una longitud media ℓ_m que en el caso del toroide tendría como valor $\ell_m = 2\pi R$.

Y considerando que $\phi = BA$, tendríamos

$$\phi = \frac{\mu_0 NIA}{\ell_m}$$

Reacomodando la ecuación anterior, tenemos

$$\phi = \frac{NI}{\ell_m/(\mu_0 A)} = \frac{\mathscr{F}}{\ell_m/(\mu_0 A)}$$

¿A qué se les parece?

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.
- Depende de la longitud del circuito magnético, el área transversal y la permeabilidad.

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.
- Depende de la longitud del circuito magnético, el área transversal y la permeabilidad.
- Entonces, la “Ley de Ohm” magnética sería: $\phi = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}}$

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.
- Depende de la longitud del circuito magnético, el área transversal y la permeabilidad.
- Entonces, la "Ley de Ohm" magnética sería: $\phi = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}}$

“LEY DE OHM” MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.
- Depende de la longitud del circuito magnético, el área transversal y la permeabilidad.
- Entonces, la “Ley de Ohm” magnética sería: $\phi = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}}$

Resumiendo:

"LEY DE OHM" MAGNÉTICA, continuación

- Vamos a llamar *Reluctancia* $\mathscr{R}$ a la relación entre la longitud media, la permeabilidad y el área.
- $\mathscr{R}$ representa la oposición al establecimiento de líneas de campo.
- Depende de la longitud del circuito magnético, el área transversal y la permeabilidad.
- Entonces, la "Ley de Ohm" magnética sería: $\phi = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}}$

Resumiendo:

$$\begin{aligned}
\mathscr{F} &= \phi\mathscr{R} \\
H\ell_m &= NI \\
\phi &= BA \\
\mathscr{R} &= \frac{\ell_m}{\mu_0 A} \\
\mu_0 &= 4\pi x 10^{-7}
\end{aligned}$$

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.
4. El flujo magnético total dentro del toroide.

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.
4. El flujo magnético total dentro del toroide.

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.
4. El flujo magnético total dentro del toroide.

Solución:

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.
4. El flujo magnético total dentro del toroide.

Solución:

$$\mathscr{R} = \frac{\ell_m}{\mu_0 A}$$

EJEMPLO

Se tiene un toroide de radio 6 cm, con una área transversal de 2 cm^2, un bobinado de 200 vueltas por el que corre una corriente CD de 2 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule:

1. La Reluctancia.
2. La intensidad de campo magnético.
3. La densidad de flujo magnético.
4. El flujo magnético total dentro del toroide.

Solución:

$$\begin{aligned}\mathscr{R} &= \frac{\ell_m}{\mu_0 A} \\ &= \frac{2\pi \cdot 6x10^{-2}}{4\pi x10^{-7} \cdot 2x10^{-4}} \\ \mathscr{R} &= 1.49x10^9 Av/Wb\end{aligned}$$

EJEMPLO, continuación

Para el cálculo de la intensidad de campo:

$$H\ell_m = NI$$

EJEMPLO, continuación

Para el cálculo de la intensidad de campo:

$$H\ell_m = NI$$

$$H = \frac{NI}{\ell_m}$$

$$= \frac{200 \cdot 2}{2\pi \cdot 6x10^{-2}}$$

$$H = 1061Av/m$$

La densidad de flujo se obtiene:

$$B = \mu_0 H = 4\pi x10^{-7} \cdot 1061$$

EJEMPLO, continuación

Para el cálculo de la intensidad de campo:

$$H\ell_m = NI$$

$$H = \frac{NI}{\ell_m}$$

$$= \frac{200 \cdot 2}{2\pi \cdot 6x10^{-2}}$$

$$H = 1061 Av/m$$

La densidad de flujo se obtiene:

$$B = \mu_0 H = 4\pi x10^{-7} \cdot 1061$$

$$B = 1.33x10^{-3} Wb/m^2$$

EJEMPLO, continuación

Para el cálculo de la intensidad de campo:

$$H\ell_m = NI$$

$$H = \frac{NI}{\ell_m}$$

$$= \frac{200 \cdot 2}{2\pi \cdot 6x10^{-2}}$$

$$H = 1061 Av/m$$

La densidad de flujo se obtiene:

$$B = \mu_0 H = 4\pi x10^{-7} \cdot 1061$$

$$B = 1.33x10^{-3} Wb/m^2$$

Y el flujo total

$$\phi = B \cdot A = 1.33x10^{-3} \cdot 2x10^{-4}$$

EJEMPLO, continuación

Para el cálculo de la intensidad de campo:

$$H\ell_m = NI$$

$$H = \frac{NI}{\ell_m}$$

$$= \frac{200 \cdot 2}{2\pi \cdot 6x10^{-2}}$$

$$H = 1061 Av/m$$

La densidad de flujo se obtiene:

$$B = \mu_0 H = 4\pi x10^{-7} \cdot 1061$$

$$B = 1.33x10^{-3} Wb/m^2$$

Y el flujo total

$$\phi = B \cdot A = 1.33x10^{-3} \cdot 2x10^{-4}$$

$$\phi = 2.66x10^{-7} Wb$$

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la “Ley de Ohm” magnética.

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la “Ley de Ohm” magnética.

1. $\mathscr{R} = 1.67x10^9 Av/Wb.$

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la "Ley de Ohm" magnética.

1. $\mathscr{R} = 1.67x10^9 Av/Wb$.
2. $B = 555.56 Wb/m^2$.

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la "Ley de Ohm" magnética.

1. $\mathscr{R} = 1.67x10^9 Av/Wb$.
2. $B = 555.56 Wb/m^2$.
3. $H = 442.1x10^6 Av/m$.

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la "Ley de Ohm" magnética.

1. $\mathscr{R} = 1.67x10^9 Av/Wb$.
2. $B = 555.56 Wb/m^2$.
3. $H = 442.1x10^6 Av/m$.
4. $N = 238.1x10^6 v$.

EJERCICIO

Se tiene un toroide de radio 30 cm, con una área transversal de 9 cm^2, y por su bobinado circula una corriente CD de 3,5 A. Asuma que el toroide tiene permeabilidad μ_0. Calcule el número de vueltas necesario para que por él fluya un $\phi = 0.5$ Wb. Demuestre su resultado utilizando la "Ley de Ohm" magnética.

1. $\mathscr{R} = 1.67x10^9 Av/Wb$.
2. $B = 555.56 Wb/m^2$.
3. $H = 442.1x10^6 Av/m$.
4. $N = 238.1x10^6 v$.
5. $\mathscr{F} = \phi\mathscr{R} => 833.33x10^6 Av = 833.33x10^6 Av$


¡Muchas Gracias!