

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

1 CIRCUITO MAGNÉTICOS REALES

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.
- Estos materiales se clasifican en:

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.
- Estos materiales se clasifican en:
 - Diamagnéticos, $\mu < \mu_0$.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.
- Estos materiales se clasifican en:
 - Diamagnéticos, $\mu < \mu_0$.
 - Paramagnéticos, $\mu > \mu_0$.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.
- Estos materiales se clasifican en:
 - Diamagnéticos, $\mu < \mu_0$.
 - Paramagnéticos, $\mu > \mu_0$.
 - Ferromagnéticos, $\mu \gg \mu_0$.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

- Existen materiales que al colocarlos en un campo magnético (CM) reaccionan con él.
- Magnetización es la modificación de la distribución del CM producto de la interacción con el material.
- Estos materiales se clasifican en:
 - Diamagnéticos, $\mu < \mu_0$.
 - Paramagnéticos, $\mu > \mu_0$.
 - Ferromagnéticos, $\mu \gg \mu_0$.
- Vamos a estudiar los materiales ferromagnéticos.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:
 - Saturación,

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:
 - Saturación,
 - histéresis y

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:
 - Saturación,
 - histéresis y
 - retentividad.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:
 - Saturación,
 - histéresis y
 - retentividad.
- Todo lo anterior producto de su comportamiento no lineal.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Los materiales *ferromagnéticos* se magnetizan fuertemente en la misma dirección del CM.
- Sin embargo, en ellos, **B** no varía linealmente, salvo en pequeños rangos, situación que veremos en seguida.
- Presentan los siguientes efectos:
 - Saturación,
 - histéresis y
 - retentividad.
- Todo lo anterior producto de su comportamiento no lineal.
- Dicho efecto se debe al comportamiento de los dominios magnéticos.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.
- En los materiales magnéticos, los CM se alinean, formando pequeños estructuras similares a un imán.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.
- En los materiales magnéticos, los CM se alinean, formando pequeños estructuras similares a un imán.
- Estas estructuras se denominan *dominios magnéticos*.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

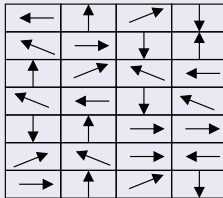
- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.
- En los materiales magnéticos, los CM se alinean, formando pequeños estructuras similares a un imán.
- Estas estructuras se denominan *dominios magnéticos*.
- Si el material no ha sido sometido a un CM externo, sus dominios están orientados de forma aleatoria.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.
- En los materiales magnéticos, los CM se alinean, formando pequeños estructuras similares a un imán.
- Estas estructuras se denominan *dominios magnéticos*.
- Si el material no ha sido sometido a un CM externo, sus dominios están orientados de forma aleatoria.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Un electrón es una carga en movimiento, lo que implica que debe haber un CM asociado a él.
- En los materiales no magnéticos, el CM asociado a él es cero, es decir, todos se cancelan entre sí.
- En los materiales magnéticos, los CM se alinean, formando pequeños estructuras similares a un imán.
- Estas estructuras se denominan *dominios magnéticos*.
- Si el material no ha sido sometido a un CM externo, sus dominios están orientados de forma aleatoria.



PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

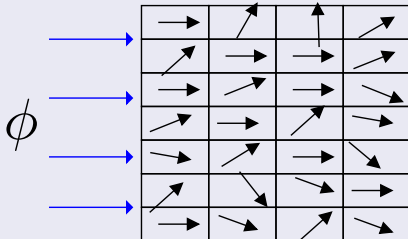
- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.

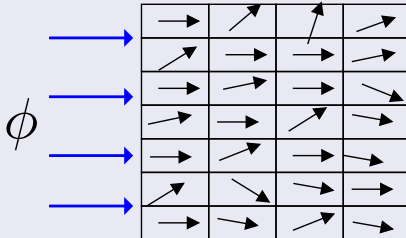
PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.



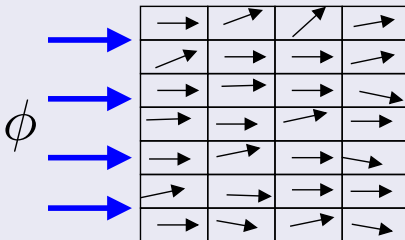
PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.



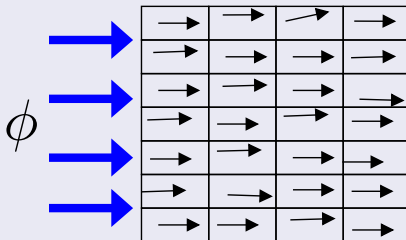
PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.



PERMEABILIDAD MAGNÉTICA, continuación

- Si el material ferromagnético se somete a un CM externo, los dominios se van alineando en la dirección de este.
- Entre más intenso el CM, más dominios se llegan a alinear.
- Sin embargo, llega un punto en donde, por más intenso que sea el CM, ya no quedan dominios que alinear.
- En este punto se dice que el material se *satura*.



MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.
- Una forma de representar la “nueva” permeabilidad de este tipo de material es con la *permeabilidad relativa*.

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.
- Una forma de representar la “nueva” permeabilidad de este tipo de material es con la *permeabilidad relativa*.
- Esto se hace para tener un parámetro de cuánto mejora la permeabilidad con respecto al vacío.

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.
- Una forma de representar la “nueva” permeabilidad de este tipo de material es con la *permeabilidad relativa*.
- Esto se hace para tener un parámetro de cuánto mejora la permeabilidad con respecto al vacío.
- La permeabilidad relativa se representa como

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.
- Una forma de representar la “nueva” permeabilidad de este tipo de material es con la *permeabilidad relativa*.
- Esto se hace para tener un parámetro de cuánto mejora la permeabilidad con respecto al vacío.
- La permeabilidad relativa se representa como

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

- La permeabilidad de un material ferromagnético es mucho mayor que μ_0 .
- Además, el proceso de alineamiento gradual de los dominios hace que el material tenga un comportamiento no lineal.
- Una forma de representar la “nueva” permeabilidad de este tipo de material es con la *permeabilidad relativa*.
- Esto se hace para tener un parámetro de cuánto mejora la permeabilidad con respecto al vacío.
- La permeabilidad relativa se representa como

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación

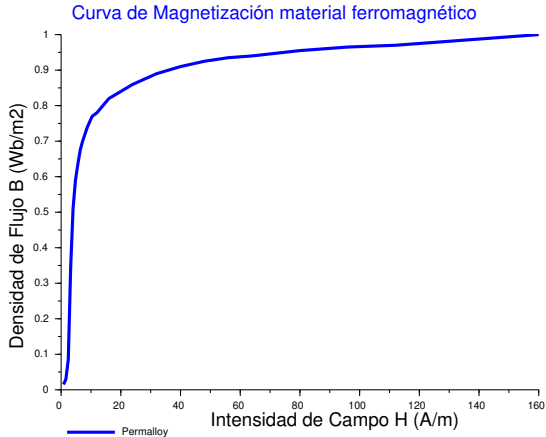
- Ahora, la curva característica de un material ferromagnético es diferente a la vista anteriormente con μ_0 .

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación

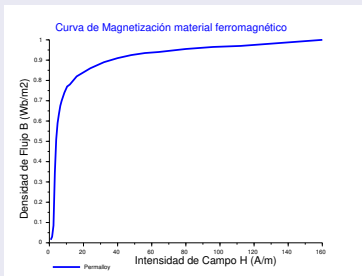
- Ahora, la curva característica de un material ferromagnético es diferente a la vista anteriormente con μ_0 .

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación

- Ahora, la curva característica de un material ferromagnético es diferente a la vista anteriormente con μ_0 .

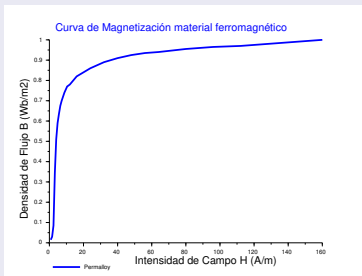


MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



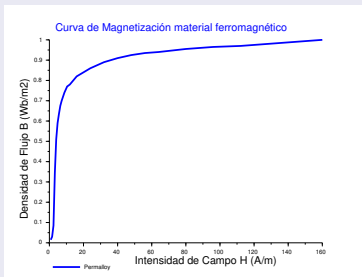
- Con esta curva aparecen algunas interrogantes (que deben contestar):

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



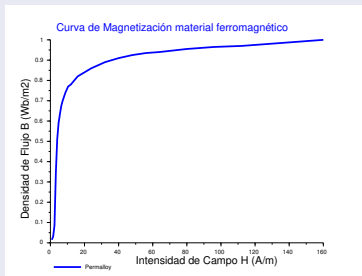
- Con esta curva aparecen algunas interrogantes (que deben contestar):
 - ¿Cómo podemos definir este comportamiento con respecto a lo que conocemos (Ohm)?

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



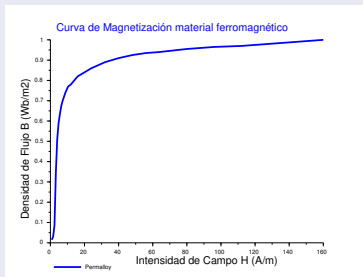
- Con esta curva aparecen algunas interrogantes (que deben contestar):
 - ¿Cómo podemos definir este comportamiento con respecto a lo que conocemos (Ohm)?
 - ¿Tendrá sentido definir un punto de operación?

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



- Con esta curva aparecen algunas interrogantes (que deben contestar):
 - ¿Cómo podemos definir este comportamiento con respecto a lo que conocemos (Ohm)?
 - ¿Tendrá sentido definir un punto de operación?
 - ¿Existirá algún punto que pueda denominarse “óptimo”?

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



- Con esta curva aparecen algunas interrogantes (que deben contestar):
 - ¿Cómo podemos definir este comportamiento con respecto a lo que conocemos (Ohm)?
 - ¿Tendrá sentido definir un punto de operación?
 - ¿Existirá algún punto que pueda denominarse “óptimo”?
- Existe una permeabilidad óptima que podemos determinar de una forma simple (¿cuál?).

MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, continuación



¡Muchas Gracias!

